

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Programa de Pós-Graduação e Ciência Florestal**

**André Ribeiro Silveira**

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB  
MANEJOS, USO E MATA NATURAL**

**Diamantina  
2019**



**André Ribeiro Silveira**

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB  
MANEJOS, USO E MATA NATURAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Marcio Pinto Leite

**Diamantina  
2019**

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S587a

Silveira, André Ribeiro

Avaliação estrutural de um latossolo vermelho-amarelo sob manejos, uso e mata natural / André Ribeiro Silveira, 2019.

62 p. : il.

Orientador: Ângelo Márcio Pinto Leite

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

1. Solo. 2. Uso intensivo. 3. Água no solo. 4. Matéria orgânica. I. Leite, Ângelo Márcio Pinto. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

**CDD 631.4**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecária Nádia Santos Barbosa, CRB6 – 3468.

ANDRÉ RIBEIRO SILVEIRA


**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO  
SOB MANEJOS, USO E MATA NATURAL**

Dissertação apresentada ao  
MESTRADO EM CIÊNCIA  
FLORESTAL, nível de MESTRADO  
como parte dos requisitos para  
obtenção do título de MESTRE EM  
CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador (a): Prof. Dr. Ângelo Márcio  
Pinto Leite

Co-orientador: Prof. Dr. Wellington  
Willian Rocha

Data da aprovação : 11/03/2019

  
Prof. Dr. ÂNGELO MÁRCIO PINTO LEITE - UFVJM

  
Prof. Dr. WELLINGTON WILLIAN ROCHA - UFVJM

  
Prof. Dr.ª RITA DE CASSIA RIBEIRO CARVALHO. - UEMG

DIAMANTINA

*Dedico:*

*Aos meus pais José e Estela que não mediram esforços para realizar meu sonho.*

*Meus irmãos José Olímpio, João Carlos e Raul pelo apoio e carinho sempre.*

*À Deus que sempre esteve ao meu lado durante toda essa caminhada, me fazendo acreditar sempre.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Estela que não mediram esforços para que chegasse esse momento e sempre acreditarem em meu potencial. Amo vocês.

À Deus que sempre me guiou e concedeu forças para superar todos meus desafios.

Ao meu orientador Wellington Willian Rocha, por todas as oportunidades oferecidas durante minha vida acadêmica, sem dúvida alguma, você foi a pessoa que mais contribuiu para o meu crescimento enquanto acadêmico e durante todos esses anos sendo também um pai.

Ao meu orientador Ângelo pelo carinho, apoio, ensinamentos e por sempre estar do meu lado quando precisei, não medindo esforços para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Moacir de Souza Dias Júnior pelo apoio e ajuda em todos os momentos.

Aos meus irmãos José Olímpio, João Carlos e Raul, sem vocês a vida seria muito mais difícil e sem graça.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Florestal – UFVJM, que foram de suma importância por todo conhecimento adquirido durante minha formação.

À banca examinadora pelos conselhos e disponibilidade em ajudar no artigo.

A todos meus amigos, Murilão, André, Ronan, José Junior, Rodrigo, Renan, Di Maria, Leo, Mudinho, Play, Ligeiro, Alon, Kuie, Chicó, Serjão, Tikuhu, Buchecha, Junin, Thaís, Dri, Paulinha, Lud, Laíze, Murcegão, Luiza, Letícia, Iago, Calopsita, Alan, Dinei, Nicolas, Misquilha, Cachimbrema, enfim todos aqueles que foram fundamentais para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

À República Butina Furada, por me proporcionar momentos inesquecíveis na minha vida.

Por fim, à Diamantina que levarei em meu coração com muito carinho, onde vivi, cresci e aprendi muito com essa cidade de belezas e pessoas incríveis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

O uso intensivo do solo, o pisoteio animal a alta trafegabilidade de máquinas e a utilização de implementos agrícolas e florestais nas operações de manejo do solo e das culturas, quando realizadas de forma inapropriada ou em condições de conteúdo de água inadequados são responsáveis por causar degradação da estrutura do solo. Objetivou-se com esse trabalho analisar as características físicas de um Latossolo vermelho-amarelo utilizando se de várias ferramentas para a determinação da compactação do solo. Para o experimento capacidade suporte de cargas de um Latossolo sob diferentes usos e mata natural, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas do Cerrado, da Mata natural e do sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), no qual fez-se análises texturais e de matéria orgânica. O solo ILPF e Cerrado não apresentam diferenças significativas entre si ao nível de 5% de probabilidade, mesmo apresentando a mesma classe de solo e sofrendo pisoteio animal. A diferença encontrada para o Cerrado e ILPF em relação à Mata, pode ser explicada pela maior quantidade de Matéria Orgânica no solo sob mata. As áreas de ILPF e Cerrado apresentaram maiores valores de Pressão de Pré Consolidação (PP), indicando que a estrutura do solo apresentou deformação devido ao pisoteio animal e ou tráfego de máquinas. A mata por sua vez tem uma menor PP, devido a sua maior quantidade de matéria orgânica, a qual promove um alívio na estrutura do solo deixando o mais solto. No experimento da análise física de um Latossolo vermelho-amarelo sob diversos manejos e usos, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas do Plantio de eucalipto (PE), Cerrado (CE), Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), plantio convencional de milho (PCM), pastagem extensiva (PEX) e mata natural (MN). Fez-se Ensaio de Proctor normal para se avaliar a densidade máxima de compactação e umidade ótima de compactação, resistência do solo à penetração e velocidade de infiltração básica (VIB). Os manejos Cerrado e Pastagem extensiva foram os que apresentaram maiores densidades do solo, sendo a Mata natural o sistema que apresentou a menor densidade do solo, devido apresentar maior quantidade de matéria orgânica. O pisoteio animal foi o fator preponderante para o aumento da densidade do solo. Os manejos PEX e CE, apresentam os maiores de Grau de Compactação (GC), indicando uma maior alteração estrutural do solo quando comparados com a Mata. Todos os sistemas apresentaram valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) inferiores ao da mata, indicando, no entanto, que a atividade antrópica interferiu na estrutura do solo.

**Palavras – chave:** solo, uso intensivo, água no solo, matéria orgânica.

## ABSTRACT

Intensive soil use, animal trampling, and the high capacity of use of agricultural and forestry implements in soil and crop management operations, when subjected inappropriately or under inadequate soil water conditions, are responsible for causing degradation of the soil structure. The use of data-editing tools as tools for the use of red-yellow is used for various tools for determining soil compaction. For the Experiment beverage loads of loads of Oxisoil uses in different uses and natural forest, in the production samples in forming the Cerrado, Natural forest and the system Integrated Crop-Livestock-Forest (ILPF), which were used vices textural and of material organic. The Soil ILPF and Cerrado does not present the differences between levels of 5% probability, even presenting a class of soil and suffering an animal trampling. The difference found for Cerrado and ILPF in relation to Mata can be explained by the greater amount of organic matter in the soil under forest. The areas of ILPF and Cerrado had higher values of Pre-Consolidation Pressure (PP), which are the structure of the soil that presents in a similar way to the animal and the traffic of machines. The forest in turn has a smaller amount of organic matter, and it promotes a response in the soil structure leaving the largest loose. In the experiment of the physical analysis of the forms of eucalyptus (PE) planting, Cerrado (CE), Integrated Crop-Livestock-Forest (ILPF), conventional corn planting (PCM), extensive pasture (PEX) and natural forest (MN). Research standards for the evaluation of maximum compaction velocity and high speed, soil penetration resistance and basic infiltration velocity (VIB). The Cerrado and Pasture extensive management were the ones that grew the most as soils, since the system that had a lower soil density was a natural Forest, which had the highest amount of organic matter. Animal trampling was the predominant factor in increasing soil density. The PEX and CE managements, present are the largest of Compaction Degree (GC), which adjust to a great structural change of the soil when compared to a Forest. All other Basic Infiltration (VIB) velocity systems below the scale, indicating, however, that anthropogenic activity interferes with soil structure.

**Keywords:** soil, intensive use, water without soil, organic matter.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Curva de compressão do solo .....	22
<b>Figura 2:</b> Amostrador Tipo Uhland .....	41
<b>Figura 3:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o plantio de eucalipto .....	46
<b>Figura 4:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para Integração Lavoura Floresta .....	46
<b>Figura 5:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o Cerrado .....	47
<b>Figura 6:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o plantio convencional de Milho .....	47
<b>Figura 7:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para a Pastagem .....	48
<b>Figura 8:</b> Modelagem do solo à penetração versus Umidade para a Mata Natural .....	48
<b>Figura 9:</b> Amostrador de Uhland .....	57
<b>Figura 10:</b> Curva de compressão do solo .....	58
<b>Figura 11:</b> Modelagem da Pressão de pré-consolidação em função da umidade em solos de cerrado, ILPF e mata natural .....	59
<b>Figura 12:</b> Modelagem da Pressão de pré-consolidação em função da umidade .....	60

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Caracterização física e matéria orgânica do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) localizado Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) sob diferentes sistemas na profundidade de 0-0,10 m.....	40
<b>Tabela 2:</b> Densidade máxima e Umidade ótima de compactação, Umidades na capacidade de campo e ponto de murcha permanente e Velocidade de infiltração básica para os diferentes manejos estudados.....	43
<b>Tabela 3:</b> Teste de significância de acordo com Snedecor & Cochran (1989) dos sistemas estudados.....	49
<b>Tabela 4:</b> Valores de Resistência à Penetração (RP) na umidade correspondente à capacidade de campo (Ucc).....	50
<b>Tabela 5:</b> Análise textural e matéria orgânica para os usos e manejo estudados .....	56
<b>Tabela 6:</b> Teste de significância de acordo com Snedecor and Cochran (1989) entre as curvas compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes usos e manejo.....	59
<b>Tabela 7:</b> Pressão de Pré-consolidação dos diferentes usos e manejo na umidade da capacidade de campo e na umidade a $0,2 \text{ kg kg}^{-1}$ do solo.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ILPF	Integração Lavoura Pecuária Floresta
ILP	Integração Lavoura Pecuária
IPF	Integração Pecuária Floresta
ILF	Integração Lavoura Floresta
OMC	Organização Mundial do Comércio
CSCS	Capacidade de Suporte de Carga do Solo
IC	Índice de Compressão
CR	Índice de Recompressão
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
UFVJM	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
PP	Pressão de Pré-Consolidação
PE	Plantio de Eucalipto
CE	Cerrado
PCM	Plantio Convencional de Milho
PEX	Pastagem Extensiva
Dsmáx	Densidade do Solo Máxima
Uót	Umidade Ótima
Ds	Densidade do Solo
U	Umidade
Ucc	Capacidade de Campo
GC	Grau de Compactação
LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo

## LISTA DE SÍMBOLOS

**$\sigma_p$**  Pré Consolidação

## SUMÁRIO

1. Referencial Teórico.....	15
1.1. Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF).....	15
1.2. Benefícios agronômicos da utilização de sistemas de ILPF .....	17
1.3. Benefícios ecológicos/ambientais.....	17
1.4. Benefícios econômicos e sociais.....	18
1.5. Benefícios para as lavouras de grãos.....	19
1.6. Benefícios para a pecuária (carne e leite) .....	19
1.7. Benefícios para o componente florestal.....	20
1.8. Pressão de Pré Consolidação.....	21
1.9. Resistência do Solo à Penetração.....	24
1.10. Velocidade de infiltração básica.....	25
1.11. Compactação do solo e o pisoteio animal.....	28
1.12. Referências Bibliográficas.....	29
2. Análise Física de um Latossolo Vermelho- Amarelo sob Diversos Manejos e Usos.....	36
2.1 Resumo.....	36
2.2 Abstract.....	37
2.3 Introdução.....	38
2.4 Objetivo.....	39
2.5 Material e Métodos.....	39
2.5.1 Ensaio de Proctor Normal.....	40
2.5.2 Ensaio da Resistência do Solo à Penetração.....	41
2.5.3 Ensaio da Velocidade de Infiltração Básica (VIB).....	42
2.5.4 Umidade na Capacidade de Campo.....	42
2.6 Resultados e Discussão.....	43
2.7 Conclusões.....	50
2.8 Referências Bibliográficas.....	51
3. Capacidade Suporte de Cargas de um Latossolo Sob Diferentes Usos e Mata Natural.....	53
3.1 Resumo.....	53
3.2 Abstract.....	54
3.3 Introdução.....	55
3.4 Objetivo.....	56

<b>3.5</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>56</b>
<b>3.6</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>59</b>
<b>3.7</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>62</b>
<b>3.8</b>	<b>Referências.....</b>	<b>63</b>

## **1. CAPÍTULO 01 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)**

No Brasil o uso do solo tem se intensificado nos últimos anos, devido a elevada área ocupada por grandes culturas florestais e agrícolas. O país apresenta uma área de 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que cerca de 71 % são ocupadas por plantios de eucalipto (Ibá, 2016), já nas culturas agrícolas de grãos, por exemplo, esse número se eleva a 58 milhões de hectares, conforme Plano Agrícola e Pecuário (2014/15), expedido pelo Ministério da Agricultura.

Os sistemas de monocultura atuam negativamente com as relações de mercado e o uso de recursos naturais, onde se torna necessário a implantação de sistemas sustentáveis e potencialmente mais produtivos que os sistemas tradicionais e, também que, contribuam para a melhoria da sustentabilidade econômica e ambiental (Dorneles and Silva, 2014).

A integração lavoura-pecuária- floresta (ILPF) é um importante artifício de produção que interage diferentes sistemas produtivos, agrícolas, pecuários e florestais dentro de um mesmo meio e/ou uma mesma área. Pode ser realizado em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação, de maneira que tenha benefício mútuo para todas as atividades. Este sistema integrado procura otimizar o uso da terra, aumentando os patamares de produtividade, diversificando a produção e gerando produtos de qualidade. Concomitante a isso reduz a pressão sobre a abertura de novas áreas, para novos cultivos ou novas criações animais (Embrapa, 2018).

Atualmente dentre os muitos sistemas integrados de produção, o que vem se destacando mais é a integração lavoura- pecuária-floresta (ILPF), definida por Kichel (2012) como sendo a produção sustentável de carne, leite, grãos, fibra, energia e produtos florestais, dentre outros, na mesma área, em plantio consorciado, em sucessão ou rotacionado, alcançando efeitos sinérgicos e potencializadores entre os componentes envolvidos naquele agroecossistema.

Os sistemas que interagem pastagem, cultivos de grãos e componente florestal, trazem características sustentáveis: econômica, ambiental e social. Segundo Paciullo et al. (2007), apresentam como benefícios: manutenção ou aumento da biodiversidade; incremento nas propriedades físicas; eficiência no uso da água; conforto térmico; retenção de carbono e

aumento da renda do produtor, devido à diversificação dos produtos em uma mesma área dentre outras vantagens.

Segundo Balbino et al. (2011) os sistemas de integração são classificados e definidos, principalmente, em quatro grandes grupos:

**a) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Agropastoril:** sistema de produção que integra o componente agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e em um mesmo ano agrícola ou por vários anos, em sequência ou intercalados.

**b) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Silvipastoril:** sistema de produção que integra o componente pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio. Este sistema de produção é mais direcionado para áreas com dificuldade de implantação de lavouras, por isso, inclui apenas os componentes florestal e pecuário na mesma área.

**c) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola:** sistema de produção que integra o componente florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas anuais ou perenes.

**d) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril:** sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, incluindo também o componente florestal, na mesma área. O componente “lavoura” restringe-se ou não à fase inicial de implantação do componente florestal.

Quanto à realização dessas atividades, são identificadas quatro situações distintas: onde a agricultura é introduzida nas áreas de pastagens; onde a pastagem é introduzida nas áreas de lavouras de grãos; e aquela em que a cultura florestal é introduzida nas áreas de pastagens ou nas de lavouras.

O cultivo em conjunto de espécies de plantas diferentes numa mesma área imagina-se a existência de interações dinâmicas e que mudam com o passar do tempo, sobretudo em áreas que possui um componente arbóreo/arbustivo, visando o crescimento contínuo em altura, a projeção de copa e o índice de área foliar, que adultera a distribuição dos recursos ao longo do tempo. Sendo assim, a produtividade do sistema será modificada continuamente (José et al., 2004).



O aumento dos níveis de matéria orgânica junto com a melhoria da qualidade física do solo pela adequação do sistema ILPF, em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade coloca em evidência o potencial do sistema em diminuir, não apenas o impacto ambiental das questões produtivas mas também as emissões de gases de efeito estufa aumentando o aproveitamento da água e dos nutrientes do solo (Balbino et al., 2011). Ou seja, observa-se que em áreas com sistemas unificados de cultivo, a qualidade do solo é superior em relação às áreas com monocultivo (Maia et al. 2006, Aguiar 2008, Jakelaitis et al. 2008, Loss et al. 2012).

Segundo Kichel et al. (2014), os principais benefícios esperados com a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária são:

### **1.2 Benefícios agronômicos da utilização de sistemas de ILPF**

- Melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo devido ao aumento da matéria orgânica;
- Desenvolvimento de sistemas radiculares de plantas em maior profundidade, permitindo melhor utilização de água e nutrientes, reduzindo, assim, perdas de produtividade na ocorrência de veranicos;
- Controle mais eficiente de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas;
- Maior eficiência na utilização de insumos e energia; e
- Possibilidade de aplicação dos sistemas por grandes, médias e pequenas propriedades rurais.

### **1.3 Benefícios ecológicos/ambientais**

- Redução da pressão para a abertura de novas áreas;
- Melhoria na utilização dos recursos naturais pela complementaridade e sinergia entre árvores e lavouras na ILPF. Isso se justifica pelo fato de que plantas indesejadas, que normalmente ocorrem nas plantações florestais jovens, são substituídas por culturas de grãos e/ou forrageiras, tornando a manutenção menos dispendiosa;
- Diminuição no uso de agrotóxicos para controle de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas;
- Redução dos riscos de erosão;
- Melhoria da recarga e da qualidade da água;
- Melhoria de condições microclimáticas, pela contribuição do componente arbóreo: amenização dos extremos de temperatura, aumento da umidade relativa do ar, diminuição da intensidade dos ventos;

- Promoção da biodiversidade, especialmente pela abundância de “efeitos de borda” ou interfaces, o que permite melhoria sinérgica, por favorecer novos nichos e *habitats* para os agentes polinizadores das culturas e inimigos naturais de insetos-pragas e doenças. A proteção integrada das culturas por sua associação com árvores, escolhidas para estimular o controle biológico nas populações das lavouras e pastagens, é uma promissora via para o futuro;
- Intensificação da ciclagem de nutrientes;
- Aumento da capacidade de biorremediação do solo;
- Menor emissão de metano por quilo de carne e leite produzido;
- Mitigação de gases efeito estufa.
- Criação de paisagens originais, que sejam atrativas e que possam favorecer atividades de agroturismo. Áreas com sistemas agrossilvipastoris têm potencial inovador de paisagismo e podem melhorar a imagem pública dos produtores perante a sociedade. Isso é particularmente importante para regiões onde as propriedades rurais são pouco ou nada arborizadas ou em regiões que são totalmente cobertas por plantações de florestas comerciais.

#### **1.4 Benefícios econômicos e sociais**

- Incremento da produção anual de grãos, carne e leite a menor custo;
- Aumento da produção anual de fibras e biomassa;
- Aumento da competitividade das cadeias de carne e leite nos mercados nacional e internacional, com produção, em pasto, de leite e carcaças de melhor qualidade;
- Aumento da produtividade e da qualidade do leite, inclusive na entressafra (período seco), também, em pasto, especialmente pelos pequenos e médios produtores;
- Dinamização de vários setores da economia, principalmente, em nível regional;
- Redução de riscos operacionais e de mercado em função de melhorias nas condições de produção e da diversificação de atividades comerciais;
- Redução do processo migratório e maior inserção social pela geração de emprego e renda;
- Aumento da oferta de alimentos seguros;
- Estímulo à qualificação profissional;
- Melhoria da qualidade de vida do produtor e da sua família;
- Estímulo à participação da sociedade civil organizada;
- Melhoria da imagem da produção agropecuária e dos produtores brasileiros, pois concilia atividade produtiva e preservação do meio ambiente;

- Maiores vantagens comparativas na inserção das questões ambientais nas discussões e negociações da Organização Mundial do Comércio (OMC).

### **1.5 Benefícios para as lavouras de grãos**

- Rotação de culturas proporcionando redução de pragas, doenças e invasoras;
- Produção de palhada em quantidade e qualidade para o plantio direto, viabilizando o plantio direto em condições tropicais e solos ácidos;
- Menor custo de produção principalmente pela diminuição do uso de insumos, máquinas e mão-de-obra;
- Diversificação das atividades rurais, com melhor aproveitamento da mão-de-obra durante todo o ano;
- Recuperação de nutrientes lixiviados ou drenados para camadas mais profundas do solo, especialmente pelas raízes das árvores e das forrageiras, e incremento da matéria orgânica do solo pela serapilheira e raízes mortas das árvores, das lavouras e das forrageiras;
- Redução da pressão para abertura de novas áreas para plantios;
- As árvores podem ser usadas na propriedade rural como mourões, postes para construção de cercas, galpões, pontes, bueiros entre outros, com menor custo;
- Redução de riscos climáticos e mercadológicos, com maior sustentabilidade.

### **1.6 Benefícios para a pecuária (carne e leite)**

- Aumento da competitividade das cadeias de carne nos mercados nacional e internacional, com produção de carcaças de melhor qualidade, por uma pecuária de ciclo curto, pautadas em alimentação de qualidade, controle sanitário e melhoramento genético;
- Aumento da produtividade e da qualidade do leite, inclusive na entressafra (período seco), também, em pasto, especialmente por pequenos e médios produtores;
- Amortização dos custos de formação e recuperação ou renovação de pastagens;
- Manutenção da capacidade produtiva das pastagens em patamares sustentáveis;
- Aumento da capacidade de suporte;
- Aumento da oferta de alimentos e de melhor qualidade (especialmente na seca): pastagem, grão, silagem e feno com menor custo de produção;
- Substituição da forrageira por espécie mais produtiva;
- Redução da idade de abate;
- Redução na idade da primeira cria e produção de leite;

- Redução do intervalo de partos;
- Melhoria da fertilidade do solo com reduções da erosão e da infestação de plantas daninhas;
- Aumento do valor nutritivo das forrageiras;
- Ambiência e conforto animal.

### **1.7 Benefícios para o componente florestal**

- Aceleração do crescimento, em diâmetro, das árvores devido ao maior espaçamento;
- Redução do custo de implantação das árvores, devido ao menor número de árvores plantadas em alguns arranjos) e pela renda oriunda dos componentes agrícola e pecuária intercalares;
- Melhoria na qualidade da madeira produzida (maior regularidade da espessura de anéis de crescimento, adequando-se melhor às necessidades da indústria), uma vez que ciclos de concorrência e desbaste são menos frequentes;
- Garantia do acompanhamento e dos cuidados com as árvores decorrentes das atividades dos plantios intercalares. Em particular, com o pastoreio ou com cultivos intercalares de inverno;
- Maior proteção contrafogo em áreas de maior risco de incêndios;
- A ILPF permite o desenvolvimento de madeira de qualidade que é um recurso que complementa, ao invés de concorrer com os produtos da floresta tradicionalmente produzidos/explorados. É importante para produzir madeiras que possam substituir as madeiras extraídas de florestas naturais, que se tornarão cada vez mais escassas e de acesso limitado. As áreas concernentes ao cultivo agrícola no país são vastas e poderiam proporcionar incremento substancial na oferta de madeira de maior valor agregado. Espécies de árvores que são pouco utilizadas nos plantios comerciais tradicionais, mas que possuem elevado valor, poderiam ser plantadas em ILPF.

Nas áreas de cultivo, a sustentabilidade vem ganhando força, onde a produção se torna inerente ao passar do tempo, pois atividades agropecuárias e florestais, baseadas em práticas de alta qualidade favorecem consideravelmente um aumento na produção, além de contribuir significativamente para a conservação dos recursos naturais e para a garantia da atividade. Contudo, ressalta-se que muita coisa ainda precisa ser feita para que propriedades rurais atinjam seus níveis ideais (Bunge, 2007)

## 1.8 Pressão de Pré Consolidação

O tráfego intenso nas áreas de cultura é o principal responsável pela compactação provocadas por forças mecânicas, tanto pelo excesso de operações como pelo simples fato do trator trafegar sobre o solo, quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo (Veiga et. al., 2007). Nota-se que a profundidade de compactação é distinta com relação ao tipo da máquina e seus rodados, condições do solo, quantidade de vezes em que o solo é trafegado e com seu histórico de pressões e tipo de manejo adotado (Reichert et. al., 2007).

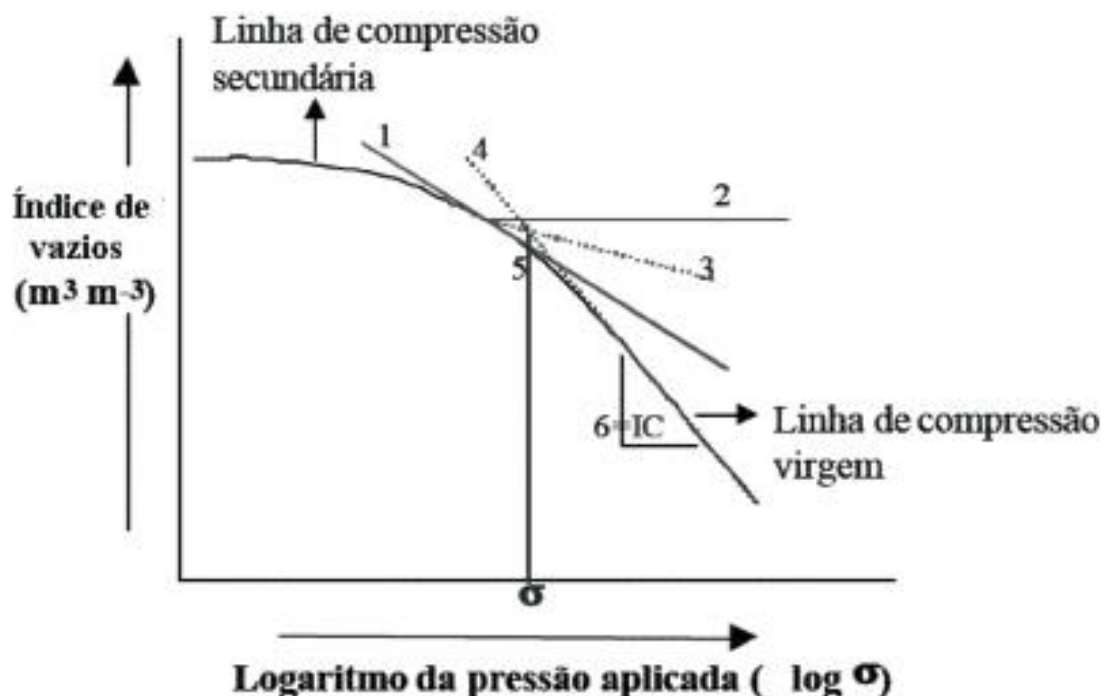
Nos últimos anos com o crescimento da agricultura e das técnicas de precisão, a utilização de maquinário e implementos modernos, tendo uma maior potência e um maior peso, têm levado técnicos e pesquisadores da ciência do solo a desenvolver novos procedimentos de análise, propondo assim a inserção de atributos mecânicos e dinâmicos em estudos de avaliação da estrutura dos solos agrícolas e florestais (Dias Júnior e Pierce, 1995; Peng et al., 2004; Araujo-Junior et al., 2008; Silva et al., 2010; Pais et al., 2011; Iori et al., 2012a; Pires et al., 2012). Iniciativas como essas têm feito da modelagem e da predição da Capacidade de Suporte de Carga do Solo (CSCS) uma proposta viável e exequível, mesmo que ainda praticada por um grupo restrito de pesquisadores no Brasil (Silva et al., 2003a; Severiano et al., 2008; Iori et al., 2013; Dias Júnior et al., 2005; Araujo-Junior et al., 2011; Pais et al., 2013).

A aplicação de modelos de CSCS para prever as consequências do tráfego sobre a estrutura do solo, recomenda a utilização da pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) (Kamimura et al., 2012; Ajayi et al., 2013; Martins et al., 2013; Severiano et al., 2013). A pressão de pré-consolidação é uma propriedade mecânica do solo alcançada em laboratório, sendo indicadora da pressão máxima que pode ser aplicada ao solo de maneira a não compactar o mesmo (Dias Júnior e Pierce, 1996).

A pressão de pré consolidação ( $\sigma_p$ ) tem se revelado uma alternativa essencial, pois foi definida por Dias Júnior (1994), como um indicador da máxima pressão aplicada ao solo anteriormente e um indicador de vulnerabilidade do solo à compactação. A importância da compreensão da pressão de pré consolidação é largamente reconhecida, por auxiliar na introdução de sistemas conservacionistas de manejo (Römkens and Miller, 1971). Oliveira et al. (2003) e Silva et al. (2010a) demonstram a importância do emprego de informações sobre a pressão de pré consolidação para o manejo racional, por conceder a predição do comportamento compressivo do solo. A utilização do ensaio de compressão uniaxial vem sendo amplamente pesquisada na avaliação dos diversos efeitos da compactação do solo (Dias Júnior & Pierce, 1995; Silva et al., 2003; Araújo-Júnior et al., 2008; Ajayi et al., 2010; Severiano et al., 2010a),

sendo considerado, portanto, um método muito difundido (Dias Júnior et al., 2004). Pires et al., (2012) encontraram valores menores de pressão de pré-consolidação para áreas bem manejadas e com adubações adequadas.

A compressibilidade do solo pode ser definida pelo ensaio de compressão uniaxial, também chamada de adensamento unidimensional (ABNT, 1990). O ensaio de compressão uniaxial basicamente consiste em aplicar sucessivas e continuamente pressões crescentes e preestabelecidas (12,5; 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa) em amostras de solos saturadas (Dias Júnior, 2000; ABNT, 1990). A partir desse ensaio tem-se a curva de compressão do solo, que é representada por um gráfico no qual são plotados, no eixo das abscissas, os valores das pressões aplicadas ( $\sigma$ ) em escala logarítmica e, no eixo das ordenadas, os valores do índice de vazios ( $e$ ) em escala natural (Figura 1). Baseando-se nessa curva é possível determinar a pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ), o índice de compressão (IC) e o índice de recompressão (CR). O IC é a relação entre a variação do índice de vazios e a variação do log da  $\sigma$ , em qualquer parte da linha de compressão virgem, representando sua inclinação:  $IC = -(E_2 - E_1)/\log(\sigma_2/\sigma_1)$ , em que  $\sigma_2$  e  $\sigma_1$  correspondem a um intervalo de pressões aplicada em qualquer parte do seguimento da reta virgem. O CR é a razão entre a variação do índice de vazios da linha de compressão secundária e o log da  $\sigma_p$ , representando a inclinação da linha de compressão secundária:  $CR = -(E_{sp} - E_i)/\log(\sigma_p)$  (Reinert et al., 2003).



**Figura 1.** Curva de compressão do solo (IMHOFF et al., 2001).

A pressão de pré consolidação separa a curva de compressão do solo em duas regiões: região de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária) e região de deformações plásticas e não recuperáveis (reta de compressão virgem), como demonstrado na Figura 1. Nos solos agrícolas e florestais, devem ser evitadas pressões maiores do que a maior pressão aplicada anteriormente, evitando assim as ocorrências de compactações complementares (Gupta et al., 1989; Lebert; Horn, 1991).

Por depender do volume de água, a  $\sigma_p$  varia em função da umidade do solo. Quanto menores os teores de água, mais resistente e densa fica a matriz do solo, levando uma maior resistência às deformações ocasionadas por pressões externas. A pressão de pré consolidação torna-se maior à medida que o solo fica mais seco. Isso ocorre, pois, a água vem atuando com duas formas sobre a resistência do solo ao cisalhamento: a) diminui a coesão entre as partículas sólidas e b) forma filmes sobre as partículas sólidas, reduzindo o atrito entre as mesmas. O resultado é um decréscimo exponencial da pressão de pré-consolidação com o aumento da umidade (Hillel, 1980).

A pressão de pré consolidação equivale à capacidade de suporte de carga de solos saturados, onde o entendimento se torna importante para a análise do comportamento da curva de compressão em diferentes sistemas de manejo, permitindo assim avaliar a susceptibilidade do solo à deformação e, conseqüentemente, à compactação (Kondo; Dias Júnior, 1999).

### **1.9 Resistência do Solo à Penetração**

A qualidade física torna-se importante na análise do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis. Admitindo que a verdadeira preocupação encontra-se na qualidade física, a mesma vem afetando gradualmente a qualidade química e biológica, já que uma se relaciona com a outra, melhorando portanto a qualidade física de um solo estipulado, indiretamente se está contribuindo para a melhoria das suas condições químicas e biológicas (Dexter, 2004).

Um dos principais motivos da degradação do solo é a compactação, ocorrência do processo de aumento da densidade e resistência penetração. A compactação do solo aparece de maneira muito frequente em ambientes que utilizam máquinas e implementos ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas (Camargo et al., 1997).

Assim o uso intensivo do solo sem alguns cuidados e estudos feitos sobre sua estrutura, acarreta em grandes prejuízos, dentre eles a compactação, que se resume à deformação

volumétrica do solo, alteração nas características físicas, provocando uma mudança na relação água-solo (Rocha et al., 2007). Essa compactação pode ser relacionada com a porosidade à densidade do solo, onde um solo com menor número de espaços vazios (poros) se torna mais denso, aumentando assim sua resistência à penetração. (Mantovani, 1987).

Segundo Pedrotti et al. (2001), a resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação (Stolf et al., 1983; Busscher et al., 1997).

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas (Letey, 1985) e modificada pelos sistemas de preparo do solo. O crescimento das raízes pode causar a deformação do solo numa zona próxima à ponta das raízes e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados deve ser suficiente para propiciar a penetração e o alongamento das raízes (Bennie, 1996). Valores excessivos de resistência do solo à penetração podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (Merotto & Mundstock, 1999) e, também, na direção preferencial do crescimento radicular (Iijima & Kono, 1991). Além disso, estudos recentes indicam que a resistência do solo à penetração das raízes tem efeitos diretos no crescimento da parte aérea das plantas (Masle & Passioura, 1987), bem como na partição de carboidratos entre a raiz e parte aérea (Masle & Farquhar, 1988). Valores críticos de resistência à penetração dependem da espécie (Bengough & Mullins, 1990). Desta forma, a resistência do solo à penetração é fundamental para a avaliação dos efeitos dos sistemas de preparo no ambiente físico do solo para o crescimento das plantas.

Embora o crescimento das raízes no solo não se dê em uma única direção, Thompson et al. (1987) encontraram boa relação entre densidade radicular e a resistência à penetração medida pelo penetrômetro. Para Vepraskas and Miner (1986), valores de resistência à penetração de 2,8 a 3,2MPa retardam a elongação das raízes e com 4,0MPa, não há crescimento de raízes. Considerando que uma redução de 40% do comprimento radicular é crítica à produtividade das plantas (Pabin et al., 1998), Cintra and Mielniczuk (1983) encontraram uma redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas, quando a resistência à penetração foi de 1,1MPa, em um Latossolo Roxo, muito argiloso. Indicando que, nessa situação, a produtividade das plantas é reduzida com resistência mecânica à penetração de 1,1MPa. Em camadas compactadas artificialmente de um solo Podzólico Vermelho-Escuro, o crescimento de raízes de trigo foi fortemente limitado quando a resistência do solo à penetração estava entre 3,5 e 5,5MPa



(Merotto Jr and Mundstock, 1999). Como se pode verificar, existe uma grande amplitude de valores de resistência mecânica do solo à penetração considerados críticos ao desenvolvimento de raízes; então, o valor de 2,0MPa tem sido aceito como o limite crítico de resistência mecânica do solo à penetração (Taylor et al., 1966; Nesmith, 1987).

### **1.10 Velocidade de infiltração básica**

Segundo Peixoto (2011), na ocorrência de uma precipitação toda água que chega ao solo é infiltrada até que a superfície deste fique saturada, a partir desse instante inicia-se o processo de escoamento superficial, sendo esse, de modo simplificado, o deflúvio excedente do processo de infiltração, que continua, porém a velocidade de infiltração torna-se constante no desenvolver deste processo.

Conforme Fiorin (2008), a infiltração é o termo utilizado para denominar o processo de entrada de água no solo, geralmente por fluxo vertical descendente, por toda ou parte da superfície do solo. Para Lima (2009), a velocidade de infiltração é a velocidade média com que a água é escoada pelo solo saturado, ou seja, a quantidade de água que atravessa a área do solo num tempo e pode ser expressa em metros por segundo, metros por dia ou metros cúbicos por metro quadrado e por dia.

A velocidade de infiltração é um fator muito importante, pois determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo de modo a se aplicar a quantidade de água desejada (Bernardo, 1995). A infiltração é um fenômeno complexo, que dependente de inúmeras variáveis relacionadas às características físicas e morfológicas do solo (Rezende & Scaloppi, 1985 e Walker & Skogerboe, 1987). Walker (1993) comenta que as principais características físicas do solo que afetam a taxa de infiltração são: textura, estrutura e declive. Comenta, ainda, que as práticas culturais podem interferir no aumento ou no decréscimo da infiltração, dependendo do equipamento utilizado e da umidade do solo.

A taxa de infiltração de água no solo é controlada pelos poros de maior calibre sem influência da força capilar e pela rugosidade de superfície, determinantes ao balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial (Cabeda, 1984). Possivelmente é a propriedade físico-hídrica que melhor “reflete” ou atua como indicador qualitativo básico das condições físicas gerais do solo (Alves; Cabeda, 1999; Doran; Parkin, 1994). Nesse sentido, a taxa de infiltração pode sugerir estados de degradação do sistema poroso dos solos.

A redução do espaço poroso da camada agricultável de um solo, por ocasião da sua desestruturação permitida em técnicas inadequadas de manejo, reduz a infiltração de água, desfavorecendo o melhoramento dos seus aspectos físicos e químicos. A porosidade do solo está relacionada a sua estruturação, que por sua vez é influenciada pela sua composição volumétrica, ocasionando diretamente ou indiretamente alterações sobre a infiltração, permeabilidade e retenção da água no solo (Kiehl, 1979). Assim, é possível alterar as propriedades físico-hídricas dos solos conforme o sistema de manejo praticado (Barcelos et al., 1999).

A destruição dos agregados do solo pela energia cinética das gotas de chuva e/ou pelo seu preparo mecânico intenso, por exemplo, ocasiona alteração da sua estrutura, culminando no “selamento” das camadas mais superficiais, redução da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo (Panachuki et al., 2006).

Com relação à disponibilidade de água, sabe-se que a água que infiltra no solo determina o balanço de água na zona radicular das culturas, o que a torna essencial para o planejamento e manejo da agricultura. As atividades de uso da terra exercem significativa influência sobre a infiltração e o homem pode, assim, modificar a capacidade de infiltração dos solos pelo manejo (Reichardt et al., 1996).

A água quando não infiltra no solo, pode escorrer provocando erosão, inundação, transporte de poluentes e degradação de sua qualidade. A previsão de inundações e erosões depende da taxa de infiltração da água no solo. Daí a importância de se quantificar essa infiltração e conhecer esse processo. A redução do escoamento superficial no solo e erosão pode estar relacionada com um aumento na capacidade de infiltração de água, enquanto que solos com alta resistência podem impedir o crescimento das raízes e reduzir a produtividade das culturas (Bengough; Mullins, 1990).

O processo de infiltração da água no solo é influenciado, em menor ou maior grau, por diversos fatores. Dentre estes fatores estão os relacionados ao solo, como as propriedades físicas, principalmente a textura e a estrutura, que influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, sendo o tamanho das partículas e a macroporosidade os atributos mais importantes (Silva; Kato, 1997).

Solos que possuem partículas maiores, textura mais arenosa, apresentam menor porosidade total, porém maior porcentagem de macroporos, enquanto que os solos que apresentam partículas menores, textura mais argilosa possuem uma maior porcentagem de microporos. No solo, o movimento do ar e da água ocorre através dos macroporos, pois nos

microporos o movimento do ar é dificultado, e o da água fica restrito principalmente a capilaridade (Hillel, 1980).

Quando a água é adicionada a um solo seco, por chuva ou irrigação, ela desloca gradualmente o ar nos espaços porosos e assim preenche os poros. Quando todos os poros, grandes e pequenos, são preenchidos, o solo é dito estar saturado ou em sua capacidade máxima de retenção (Parhi et al., 2007; Libardi, 2012).

A taxa de infiltração da água no solo é elevada no início do processo de infiltração e decresce exponencialmente com o tempo, aproximando-se de um mínimo e constante quando o solo se encontra saturado, conhecido como velocidade de infiltração básica (VIB) (Alves Sobrinho et al., 2003). Um solo com maior quantidade de macroporos apresentará maior taxa de infiltração inicial, assim como maior VIB.

A infiltração da água no solo pode ser acentuada por vários fatores, incluindo preparo, adição de compostos, ou até mesmo a substituição por um solo que seja mais permeável. Sendo que, alternativas como, alterações no manejo, são mais viáveis do que uma possível substituição do solo, o que é caro e limitado a materiais locais (Craul, 1994).

A cobertura e os tipos de uso do solo podem exercer efeitos positivos e negativos sobre as condições de infiltração da água no solo. O sistema de manejo convencional, pisoteio animal e a intensa utilização de mecanização, aumentam a probabilidade de compactação do solo devido às tensões recebidas na área (Reichardt; Timm, 2004). Porém, solos sob o sistema de plantio direto também podem apresentar valores elevados de densidade do solo e menor macroporosidade. A prática de rotação de culturas associada ao plantio direto auxilia quando se utiliza plantas com sistema radicular profundo que se desenvolvem em solos compactados (Abreu et al., 2004).

Muitos métodos para a determinação da infiltração de um solo estão disponíveis na literatura, para condições de campo e de laboratório, porém nenhum método é satisfatório para todas as condições. A escolha do método a ser utilizado depende de fatores como disponibilidade de suprimentos e equipamentos, problema a ser resolvido, conhecimento do experimentador, e recursos disponíveis (Johnson, 1991).

A taxa de infiltração geralmente é determinada a partir de dados de campo, sendo que os principais métodos são: infiltrômetro de anel, permeâmetro de disco, alagamento de bacias ou sulcos, e aspersão (simulação de chuva) (Lili et al., 2008).

### **1.11 Compactação do solo e o pisoteio animal**

O termo compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado, durante a qual ocorre um aumento da densidade, em consequência da redução de volume pela expulsão do ar (Dias Junior and Pierce, 1996). A compactação excessiva pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular (Smucker and Erickson, 1989) resultando em decréscimo da produção e aumento da erosão (Soane, 1990).

Determinados solos têm maior capacidade de suportar cargas, são mais facilmente manejados após períodos de chuva e não têm limitações ao crescimento vegetal (Reinert, 1990). A diferenciação entre tipos de solo se deve aos diferentes estados de agregação, à textura, ao teor de água, à matéria orgânica e às tensões que o solo recebeu no passado (Horn and Lebert, 1994). As características do solo que influenciam seu comportamento compressivo, são afetadas pelo manejo, tais como: matéria orgânica (Stone and Ekwue, 1995), estrutura (Horn et al., 1995), teor de água e densidade do solo (Reinert, 1990; Dias Júnior, 1994; Kondo and Dias Júnior, 1999; Silva et al., 2002).

A compactação do solo tem sido apontada como um dos principais problemas evidenciados nas áreas sob pastejo intensivo, pois tem causado a diminuição da produção de forragem das pastagens cultivadas. O impacto causado pelo pisoteio bovino sobre o solo e os consequentes reflexos sobre alguns atributos físicos, tem sido atribuído ao fato de seu peso ser distribuído em uma menor área atingida pelo seu casco. Com o mau manejo, a degradação do solo ocorre de forma acelerada, pois pulveriza e compacta a camada superficial do solo, diminuindo desta forma a infiltração de água, provocando com isto o escoamento superficial da água provocando a erosão do solo devido à inexistência de agentes protetores que atuam sobre o solo, prejudicando-o em suas qualidades naturais. Estudos já realizados indicam que o pisoteio animal altera as propriedades físicas do solo, podendo afetar o sistema radicular e a produção das culturas (Silva et al, 2000).

O efeito do pisoteio animal na compactação do solo, cuja magnitude depende da categoria e da carga animal, influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo, umidade do solo entre outros fatores (Moraes and Lustosa, 1997). No entanto, o efeito deste pisoteio sobre as propriedades físicas são mais pronunciados nas camadas superficiais do solo, conforme constatado por Trein et al. (1991).

## 1.12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Solo: ensaio de adensamento unidimensional – MB 3336. Rio de Janeiro, 1990. 13 p.

Abreu SL, Reichert JM, Reinert DJ. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.28, p.519-531, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>

Aguiar MI. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Viçosa: UFV, 2008. 89p. Dissertação Mestrado.

Ajayi AE, Dias Júnior MS, Curi N, Oladipo I. Compressive response of some agricultural soils influenced by the mineralogy and moisture. *Int. Agrophys.* 2013;27:239-46. doi: 10.2478/v10247-012-0091-x

Ajayi AE, Dias Júnior MS, Curi N, Okunola A, Teixeira Souza TTT and Pires BS. Assessment of vulnerability of Oxisols to compaction in the Cerrado Region of Brazil. *Pedosphere*, 20:252-260, 2010. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60013-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60013-6)

Alves Sobrinho T, Vitorino ACT, Souza LVCF, Gonçalves MC, Carvalho DF. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200001>

Alves MC, Cabeda MSV. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 4, p. 753-761, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000400001>.

Araujo Júnior CF, Dias Júnior MS, Guimarães PTC, Alcântara EN. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. *R Bras Ci Solo*. 2011;35:115-31. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100011>.

Araujo-Junior CF, Dias Junior MS, Guimarães PTG. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. *R Bras Ci Solo*. 2008;32:23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100003>.

Balbino LC, Martinez GB, Galerani PR. Ações de transferência de tecnologia de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Planaltina: Embrapa Cerrados; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 52p.

Balbino LC, Barcellos AO, Stone FL. Marco referencial: integração lavoura-pecuária floresta (ILPf). Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

Barcelos AA, Cassol EA, Denardin JE. Infiltração de água em um latossolo vermelho escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000100005>.

Benghough AG, Mullins CE. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science*, v.41, p.341-358, 1990.

Bennie ATP, Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U. In: Growth and mechanical impedance. Plant roots: the hidden half. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.453-470.

Bernardo S. Manual de irrigação. 6.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BUNGE. Responsabilidade Ambiental na Produção Agrícola. 44 p. 2007. Disponível em: <[http://www.bunge.com.br/downloads/sustentabilidade/cartilha\\_RA.pdf](http://www.bunge.com.br/downloads/sustentabilidade/cartilha_RA.pdf)>. Acesso em: 7 nov. 2018.

Busscher WJ, Bauer PJ, Camp CR and Sojka RE. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Till. Res., 43:205-217, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00015-9)

Cabeda MSV. Degradação física e erosão do solo. In: Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil, 1.,1984, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo PIUCS e UPF - Faculdade de Agronomia,1984. p. 28-33.

Camargo AO, Alleoni LRF. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba – SP, Degaspar, 1997. 132p.

Castro CRT, Muller MD, Arcuri PB, Carneiro JC. Sistemas Agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 13-50.

Dexter AR. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, v.120, p.201-214, 2004a. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>

Dias Júnior MS, Leite FP, Lasmar Júnior E, Araujo-Júnior CF. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. Sci Agric. 2005;62:248-55. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000300008>

Dias Júnior MS, Pierce FJ. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Technol. 1995;8:139-51. [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(95\)00015-8](https://doi.org/10.1016/0933-3630(95)00015-8)

Dias Júnior MS, Pierce FJ. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R Bras Ci Solo. 1996;20:175-82.

Dias Junior MS. Compactação do solo. Tópicos em ciência do solo, Viçosa, v. I, p. 56-94, 2000.

Dias Júnior MS. Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)

Dias Junior MS, Pierce FJ. O processo de compactação do solo e sua modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.

Dias Júnior MS, Silva AR, Fonseca S and Leite FP. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. R. Bras. Ci. Solo, 28:805-810, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500002>

Doran JW, Parkin TB, Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. In: Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, ASA, CCSA, SSSA, 1994. p. 3-21.

Dorneles TM, Silva IM. Aspectos econômicos de sistemas agroflorestais: considerações sobre a prática de integração lavoura-pecuária-floresta em MS. Seminário Internacional de Integração e Desenvolvimento Regional. 2014. Disponível em: <<http://anaisonline.uems.br/index.php/ecaeco/article/viewFile/2783/2855>> Acesso em: 20 out. 2018.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

Fiorin TT. Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções. 2008. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2008.

Gupta SC, Sharma PP, Defranchi SA. Compaction effects on soil structure. *Advanced Agronomy*, Newark, v. 41, p. 331–338, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60528-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60528-3)

Hillel D. *Fundamentals of soil physics*. New York: Academic Press, 1980, 413 p.

Horn R, Lebert M. Soil compactability and compressibility. In: Soane BD, Ouwerkerk C. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam : Elsevier, 1994. p.45-69.

Horn R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores; Relatório Anual 2016, ago. 2016. 100p

Iijima M, Kono Y. Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. *Japanese Journal of Crop Science*, v.60, p.130-138, 1991. <https://doi.org/10.1626/jcs.60.130>

Iori P, Dias Junior MS, Ajayi AE, Guimarães PTG, Pais PSM, Andrade MLC. Comparison of field and laboratory models of the load bearing capacity in coffee plantations. *Ci Agrotec*. 2013;37:130-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200003>

Iori P, Silva RBS, Dias Júnior MS, Lima JM. Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. *R Bras Ci Solo*. 2012a;36:1448-56. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500008>.

Jakelaitis A, Silva AA, Santos JB, Vivian R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, p.118-127, 2008.

José S, Gillespie AR, Pallardy SG. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, v.61, p.237-255, 2004.



Kamimura KM, Dias Júnior MS, Guimarães PTG, Santos GR, Oliveira MS. Load bearing capacity of a Red-Yellow Latosol in a coffee plantation. R Bras Ci Solo. 2012;36:1457-65. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500009>

Kichel AN et al. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) – Experiências no Brasil. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v.71, n.1, p.94 -105, 2014. Disponível em: < <http://iz.agricultura.sp.gov.br/bia/index.php/bia/issue/view/36>> Acesso em: 15 set. 2018. <https://doi.org/10.17523/bia.2014.v71n1>

Kichel NA, Almeida RG, Costa JAA. In: Congresso Brasileiro de Soja. Integração lavoura-pecuária-floresta e sustentabilidade na produção de soja. Anais... Cuiabá, MT: Embrapa; Aprosoja, 2012. p. 1-3. 1 CD-ROM.

Kiehl EJ. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. Kondo MK, Dias Júnior MS. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 23, p. 497-506, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000300002>.

Kondo MK, Dias Junior MS. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, p.211-218, 1999.

Lebert M, Horn RA. Method to predict the mechanical strenght of agricultural soils. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 19, p. 275-286, 1991. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90095-F](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90095-F)

Letey J. Relationship between soil physical properties and crop production. Advances in Soil Science, v.1, p.277-294. 1985.

Libardi PL. Dinâmica da Água no Solo. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 2012. 352p.

Lili M, Bralts VF, Yinghua P, Han L, Tingwu L. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, Beijing, v.1, n.1, p.22-30, 2008. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2008.01.022-030

Lima C. Determinação da curva de infiltração de água em um latossolo roxo utilizando o infiltrômetro de pressão. 2009. TCC (tecnologia em gerenciamento ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2009.

Lima JSS, Leite AMP. Mecanização. In: Machado CC. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap 2, p. 42-72.

Loss A, Pereira MG, Beutler SJ, Perin A, Anjos LHCdos. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Revista Ciências Agrárias, v.55, p.260-268, 20. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.066>

Maia SMF, Xavier FAdaS, Oliveira TSde, Mendonça EdeS, Araújo Filho JAde. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. Revista Árvore, v.30, p.837-848, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000500018>.



Mantovani EC. Compactação do solo. Informe Agropecuário, v. 13, n. 17, p. 52-55, 1987.

Martins PCC, Dias Júnior MS, Carvalho JS, Silva AR, Fonseca SM. Levels of induced pressure and compaction as caused by forest harvesting operations. Cerne. 2013;19:83-91. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000100011>

Masle J, Farquhar GD. Effects of soil strength on the relation of water use-efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. Plant Physiology, v.86, p.32-38, 1988.

Masle J, Passioura JB. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. Australian Journal of Plant Physiology, v.14, p.643- 656, 1987.

Merotto A, Mundstock CM. Wheat root growth as affected by soil strength. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.197-202, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S010006831999000200002>

Moraes A, Lustosa SBC. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: Simpósio sobre Avaliação de Pastagens com Animais, 1997, Maringá, PR. Anais... Maringá : Universidade Estadual de Maringá, 1997. 149 p. p.129-149.

Oliveira GC, Dias Júnior MS, Resck DVS and Curi N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. Pesq. Agropec. Bras., 38:291-299, 2003.

Pais PSM, Dias Júnior MS, Santos GA, Dias AC, Guimarães PTG, Alcântara EN. Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiros. R Bras Ci Solo. 2011;35:1949-57. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600011>.

Pais, PSM, Dias Júnior MS, Dias AC, Iori P, Guimarães PTG, Santos GA. Load-bearing capacity of a Red-Yellow Latosol cultivated with coffee plants subjected to different weed managements. Ci. Agrotec. 2013;37:145-51. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200005>

Panachuki E, Alves Sobrinho T, Vitorino ACT, Carvalho DF, Urchei MA. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 28, n. 1, p.129-137, 2006.

Pedrotti A, Pauletto EA and Crestana, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 25:521-529, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>.

Peng XH, Horn R, Zhang B, Zhao QG. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. Soil Till Res. 2004;76:125-37. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.09.006>

Pires BS, Dias Júnior MS, Rocha WW, Araújo Júnior CF, Carvalho RCR. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e

manejos. R Bras Ci Solo. 2012;36:635-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200032>

Reichardt K. Dinâmica da matéria e de energia em ecossistemas. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 1996. 505p.

Reichert, J.M; Suzuki, L. E. A. S. & Reinert, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em Ciência do Solo, v 5, p. 49-134, 2007.

Reinert DJ, Robaina A, Reichert JM. Compress – software e proposta de modelo para descrever a compressibilidade dos solos e seus parâmetros. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais ... Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

Reinert DJ. Soil structural form and stability induced by tillage in a typic hapludalf. 1990. 128f. Tese (Doutorado em solos e Culturas) - Michigan State University.

Rezende FC, Scaloppi JE. Avaliação de métodos para a determinação das características de infiltração por sulcos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.2, p.227-233, 1985.

Rocha WW, Borges SR., Victória EP, Nunes AB. Resistência ao cisalhamento do solo do ponto de vista ambiental. In: Abreu MHN (Org.). Ciências Ambientais: abordagem multidisciplinar. Belo Horizonte: UEMG, 2007. p. 87-124.

Römken MJM and Miller RD. Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data – a mathematical model. Plant Soil, 248:237-248, 1971.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Castro MB, Oliveira LC and Costa KAP. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: Imodelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. Eng. Agríc., 30:404-413, 2010a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000300005>.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Oliveira LFC, Castro MB. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. R Bras Ci Solo. 2008;32:1419-27. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400006>.

Silva RB, Dias Junior MS, Santos FL, Franz CAB. Influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto, avaliada por meio da pressão de preconsolidação. R Bras Ci Solo. 2003a;23:219-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600001>.

Silva RB, Iori P, Silva FAM, Dias Júnior MS. Modelagem e determinação do estado crítico de consolidação a partir da relação massa e volume em solos canavieiros. R Ci Agron. 2010;33:376-89.

Silva CL, Kato E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

Silva RB, Dias Júnior MS, Silva FAM and Fole SM. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 27:973-983, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600002>.

Silva RB, Iori P, Silva FAM. and Dias Júnior MS. Modelagem e determinação do estado crítico de consolidação a partir da relação massa e volume em solos canavieiros. R. Ci. Agrar., 33:376-389, 2010a.

Silva VR, Reinert DJ and Reichert J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho, afetados pelo pastejo e manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 24, n. 1, 191-199, 2000a.

Silva VR. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.1-8, 2002.

Smucker AJM, Erickson AE. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: Larson WE, Blake GR, Allmaras RR, Voorhees WB, Gupta, SC. (eds.). Mechanics related process in structured agricultural soils. NATO applied sciences. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1989. v.172, p.205-221.

Soane BD. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.16, p.179-201, 1990.

Stolf R, Fernandes J and Urlani Neto VL. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1)

Stone RJ, Ekwue EI. Compressibility of some Trinidadian soils affected by the incorporation of peat. J Agric Eng Res, v.60, p.15-24, 1995.

Veiga M, Horn R, Reinert DJ and Reichert JM. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from outer Brazil. as affected by long-term tillage systems. Soil and Tillage Research, v 92, p. 104- 113, 2007.

Trein CR, Cogo NP, Levien, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p.105-111, 1991.

Walker WR. Two decades of surface irrigation research: four significant results and their practical consequences. In: International Conference on Irrigation, 6th., 1993, Tel-Aviv. Proceedings... Tel- Aviv: Agritech, p. 137-158. 1993.

Walker WR, Skogerboe GV. Surface irrigation: theory and practice. New Jersey: Prentice-Hall, 386p, 1987.

\*REFERÊNCIAS DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.

## 2. CAPÍTULO 02 – ANÁLISE FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB MANEJOS, USO E MATA NATURAL

### 2.1 RESUMO

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação a uma área não cultivada ou, em campos nativos. Nos últimos anos, a deterioração da qualidade do solo tem sido um assunto de suma importância na ciência do solo, na medida em que a retirada da cobertura vegetal e o uso intensivo da mecanização em todas as operações de cultivo, podem resultar na diminuição da sua capacidade produtiva. Objetivou-se com esse trabalho analisar diversos manejos e usos do solo levando em consideração suas características físicas. A coleta das amostras e ensaios de campo ocorreu na Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) situada em Curvelo, MG em outubro de 2018. Foram coletadas amostras indeformadas e deformadas do Plantio de eucalipto (PE), Cerrado (CE), Integração Lavoura Floresta (ILPF), plantio convencional de milho (PCM), pastagem extensiva (PEX) e mata natural (MN). Foram realizados Ensaio de *Proctor* normal para se avaliar a densidade máxima de compactação e umidade ótima de compactação, resistência do solo à penetração e velocidade de infiltração básica (VIB). Os manejos Cerrado e Pastagem extensiva, foram os que apresentaram maiores densidades do solo, sendo a Mata natural o sistema que apresentou a menor densidade do solo, devido apresentar maior quantidade de matéria orgânica. Observou-se que os sistemas CE e PEX, apresentaram os menores valores de Umidade Ótima (Uót), dado seu estado de consolidação pelo não revolvimento do solo e pisoteio de animais. Os manejos PEX e CE apresentaram também os maiores de Grau de Compactação (GC), indicando uma maior alteração estrutural do solo quando comparados com a Mata. Todos os sistemas apresentaram valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) inferiores ao da Mata, indicando, no entanto, que a atividade antrópica interferiu na estrutura do solo.

**Palavras-chave:** solo, compactação, propriedades físicas, manejo.

## 2.2 ABSTRACT

Soil cultivation changes its physical properties in relation to uncultivated soil, such as that found in native fields. In recent years, deterioration of soil quality has been an important topic in soil science, since the removal of vegetation cover and the intensive use of mechanization in all soil cultivation operations can result in a decrease in its capacity productive. The objective of this work was to analyze several land uses and uses taking into account their physical characteristics. Samples and field trials were collected at the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM) located in Curvelo, MG. Undeformed and deformed specimens were collected from Eucalyptus (PE), Cerrado (CE), Integrated Crop-Livestock-Forest (ILPF), conventional corn planting (PCM), extensive pasture (PEX) and natural forest (MN). Normal proctor test was performed to evaluate the maximum compaction density and optimum compaction humidity, soil penetration resistance and basic infiltration velocity (VIB). The Closed and Extensive pastures were the ones that had the highest soil densities, and the system that presented the lowest soil density was the Natural forest, which had a higher amount of organic matter. It is observed that the EC and PEX systems show the lowest values of Great Humidity (U<sub>ót</sub>), given their state of consolidation due to the non-stirring and trampling of animals. The PEX and CE managements have the highest Compaction Degree (GC), indicating a greater structural alteration of the soil when compared to Mata. All the systems presented values of Basic Infiltration Rate (VIB) lower than that of the forest, indicating, however, that the anthropic activity interfered in the soil structure.

**Keywords:** soil, compaction, physical properties, handling.

## 2.3 INTRODUÇÃO

O cultivo do solo afeta suas estruturas em comparação ao solo não cultivado, tal como visto em campos nativos. Essas alterações são mais evidenciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, onde são demonstradas, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas (Berto et al., 2004).

O preparo do solo e o pisoteio animal têm uma relação direta com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo comprometer o sistema radicular e a produção das culturas. A compactação do solo é um processo de aumento da densidade do mesmo, no qual há um aumento da resistência à penetração e redução da porosidade total, da macroporosidade, da permeabilidade e da infiltração de água, ocasionadas por cargas aplicadas na superfície do solo (Soane and Ouwerkerk, 1994). Essa prática atua diretamente sobre a sua estrutura que, por sua vez, interage ou afeta uma série de características do perfil, alterando as variáveis a ela ligadas (Vieira, 1985).

A danificação da qualidade do solo tem sido um tópico importante na ciência do solo, onde a retirada da cobertura vegetal e o uso desenfreado da mecanização em todas as operações de cultivo (semeadura, tratos culturais e colheita) podem ocasionar a diminuição da sua capacidade produtiva (Assis and Lanças, 2005).

O monitoramento da qualidade do solo é de suma importância e pode ser feito pela avaliação dos seus atributos físicos, os quais são necessários para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais. A densidade do solo ( $\rho_s$ ) é utilizada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica etc. (Costa et al. 2007, Dam et al., 2005; Martins et al. 2009, Thimóteo et al. 2001).

No estudo da compactação do solo, o Proctor normal é um dos ensaios de laboratório mais utilizados (Dias Junior, 1996). A partir desse ensaio, para uma mesma energia de compactação, a densidade do solo depende de sua umidade no momento da compactação (Vargas, 1977). Plotando os valores de umidade versus densidade do solo, se tem a curva de compactação, de onde são geradas a umidade crítica de compactação e a densidade máxima correspondente.

Uma outra ferramenta importante é a Resistência à Penetração, segundo Pedrotti et al. (2001), serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover

através dele. Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação (Stolf et al., 1983; Busscher et al., 1997).

Os tipos de usos do solo e sua cobertura vegetal podem exercer efeitos positivos e negativos sobre as condições de infiltração da água no solo. O sistema de manejo convencional, pisoteio animal e a intensa trafegabilidade de máquinas, aumentam a probabilidade de compactação do solo as cargas aplicadas na área (Reichardt; Timm, 2004).

A taxa de infiltração é determinada comumente a partir de dados de campo, sendo os principais métodos utilizados: infiltrômetro de anel, permeâmetro de disco, alagamento de bacias ou sulcos, e aspersão (simulação de chuva) (Lili et al., 2008).

## **2.4 OBJETIVO**

Objetivou-se com esse trabalho analisar diversos manejos e usos do solo levando em consideração suas características físicas, buscando-se determinar sua Densidade máxima, Umidade ótima, Umidade na capacidade de campo, Grau de Compactação e Velocidade de infiltração básica e Resistência do solo a penetração, para que esse solo não tenha suas estruturas danificadas durante seu uso ou manejo.

## **2.5 MATERIAL E MÉTODOS**

A coleta das amostras e ensaios de campo ocorreram na Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) situada em Curvelo, MG em outubro de 2018.

As áreas do estudo encontram-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 18° a 36° C e precipitação média anual de 1709,4 mm. O relevo é suave ondulado em grandes extensões com declividade média de 6%. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média A moderado (Embrapa, 2006). A tabela 1 apresenta os atributos físicos e químicos desse solo, que foram obtidos no Laboratório de Solos no Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

**Tabela 1.** Caracterização física e matéria orgânica do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) localizado Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) sob diferentes sistemas na profundidade de 0-0,10 m.

Sistemas	Argila	Areia	Silte	MO
	g Kg <sup>-1</sup>			
Plantio de eucalipto	17	57	26	1,9
Cerrado	16	57,9	26,1	1,8
Integração lavoura-Floresta	17,3	57,1	25,6	2,0
Plantio convencional de milho	16,3	56,7	26	1,6
Pastagem extensiva	17,1	56,9	26	1,8
Mata Natural	16	57,8	26,2	3,8

Na área em estudo, encontram-se implantadas os seguintes sistemas manejos: Plantio de eucalipto (PE), Cerrado (CE), Integração Lavoura Floresta (ILPF), Plantio convencional de milho (PCM), Pastagem extensiva (PEX) e Mata natural (MN). Cada área de estudo é de aproximadamente 2 hectares (há). Os sistemas de plantio de eucalipto e de milho estão estabelecidos na área há sete anos, o cerrado sofreu pisoteio anteriormente durante um longo período e hoje se encontra em recuperação a mais de um ano.

O experimento constou das seguintes avaliações: Ensaio de Proctor normal para se avaliar a densidade máxima e umidade ótima de compactação, resistência do solo à penetração e velocidade de infiltração básica (VIB).

### 2.5.1 Ensaio de Proctor Normal

Para a obtenção da curva de compactação do solo, compactaram-se quatro corpos de prova, com umidades crescentes. A compactação dos corpos de prova se deu em três camadas, as quais receberam 25 golpes do martelo usado no ensaio de Proctor normal (Stancati, Nogueira and Villar, 1981), determinando-se em, seguida, a densidade do solo. Para cada camada, uma amostra de solo foi coletada para a determinação da umidade. Com os valores da umidade e da densidade do solo, plotaram-se os pontos, obtendo-se através do software Excel for Windows, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos pontos determinados. No ponto máximo da função obtiveram-se a densidade do solo máxima ( $D_{sm\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima ( $U_{\acute{o}t}$ ) de compactação através das expressões  $D_{sm\acute{a}x} = -b/2a$  e  $U_{\acute{o}t} = -(b^2 - 4ac)/4a$  (Iezzi et al., 1978), em que a, b e c são os coeficientes de ajustes das equações.



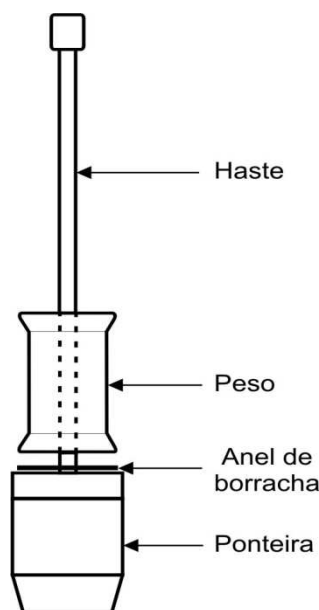
Para a obtenção das curvas de compactação, os valores da densidade do solo ( $D_s$ ) e da umidade ( $U$ ), obtidos através do ensaio de Proctor normal, foram plotados nos eixos das ordenadas e das abscissas, respectivamente. Em seguida, foi ajustada uma equação do segundo grau do tipo  $D_s = a U^2 + b U + c$ , em que  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros ajustados.

Os graus de compactação foram obtidos pela divisão dos valores de densidade atual do solo pelos valores da densidade máxima obtido no ensaio de proctor normal, multiplicados por 100.

A densidade natural do solo para cada manejo foi determinada pelo método dos anéis, em que densidade é o valor da massa seca do solo dividido pelo seu volume, volume esse que é coincidente com o do anel.

### 2.5.2 Ensaio da Resistência do Solo à Penetração

Para este ensaio, utilizou-se um penetrômetro de molas da marca ELE International, equipamento portátil de avaliação de perfis de solos. Foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de uma amostrador do tipo Uhland, com anéis de 2,2cm de altura com 6cm de diâmetro (Figura 2). Para cada área de estudo, coletou-se 24 anéis.



**Figura 2.** Amostrador de Uhland esquematizado.

Fonte: “Adaptado de Kondo, 1998”.

Em laboratório, as mostras foram trabalhadas para que seu volume coincidisse com o volume do anel, facilitando assim o cálculo de densidade do solo e manuseio dessas amostras. Após a coleta, as amostras indeformadas foram embaladas em filme plástico e posteriormente parafinadas e identificadas. A utilização do filme plástico e a parafina garantem que a estrutura

da amostra seja preservada até o laboratório. O volume da amostra é correspondente ao volume do anel, sendo necessário para o seu preparo retirar as partes excedentes das superfícies.

Coletaram-se também amostras deformadas de solos para uma caracterização deste solo, consistindo em análise granulométrica pelo método da pipeta (Day, 1965; Embrapa, 1997), e teor de matéria orgânica (Raij and Quaggio, 1983).

Depois de preparadas às amostras indeformadas de solos, essas foram saturadas com água destilada por 48 horas. Os ensaios de resistência à penetração tiveram início após a saturação das amostras e consistiu em medir a resistência do solo dentro do anel usando o penetrômetro já descrito e pesando-se as amostras logo em seguida. Esse procedimento foi repetido até que o solo se encontrasse com um valor tal de umidade que não permitisse mais a leitura da resistência à penetração, sendo então, as amostras levadas à estufa 105°C por 24h para secagem. Com os valores das massas dos solos úmidos e secos, pode-se calcular as umidades correspondentes aos valores das determinações das resistências à penetração. De posse das informações de resistência à penetração versus umidade, pode-se então obter os modelos matemáticos que auxiliaram no entendimento da compactação ou não dos manejos estudados. Os modelos gerados são exponenciais e foram comparados estatisticamente segundo procedimentos descritos por Snedecor and Cochran (1989)

### **2.5.3 Ensaio da Velocidade de Infiltração Básica (VIB)**

Esse ensaio foi conduzido segundo Bernardo (2006) e consiste na avaliação da infiltração de água no solo com o uso de dois anéis concêntricos chamados de anéis infiltrômetros, onde o valor da VIB de cada solo é a infiltração de água medida por um determinado tempo, sendo o valor adotado aquele que apresentar três leituras iguais e consecutivas. Foram feitas três repetições por área de estudo.

### **2.5.4 Umidade na Capacidade de Campo**

Uma vez coletadas e preparadas as amostras indeformadas, essas foram saturadas e equilibradas na tensão de -6kPa, correspondente à capacidade de campo para este solo (Silva, 2007). Utilizou-se para isto uma mesa de tensão construída na UFVJM e calibrada com o extrator de placas porosas de Richardt.

## 2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por intermédio da Tabela 2, observa-se que os manejos referentes ao Cerrado (CE) e Pastagem extensiva (PEX), foram as situações que apresentaram maiores densidades do solo. Tal fato se explica pelo não revolvimento do solo e o pisoteio animal que o CE já sofreu no passado e, o intenso pastejo animal que a PEX vem sendo submetida ao longo dos anos. O sistema que apresenta a menor densidade do solo foi a Mata natural, por possuir uma maior quantidade de matéria orgânica (Tabela 1), possivelmente tornando esse solo mais leve reduzindo com isto seu valor de densidade. Em seguida o Plantio convencional de milho (PCM) foi o que, apresentou menores valores de densidade do solo. Neste manejo, devido ao solo passar por sucessivas operações de revolvimento, como arações e gradagens, a estrutura deste é drasticamente alterada, deixando-o mais solto e, conseqüentemente, com menores valores de densidade. Quando comparado ao CE e PEX as áreas de Plantio de eucalipto (PE) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) também apresentam menores valores de Densidade do solo. Isto se explica por que estas áreas, PE e ILPF, embora tenham sido submetidas ao tráfego de máquinas, em seu preparo também sofreram subsolagem e aração com duas gradagens respectivamente e, assim, o efeito do preparo ainda consta nas áreas, considerando também que ambas não tiveram pisoteio animal.

**Tabela 2.** Densidade máxima e umidade ótima de compactação, Umidades na capacidade de campo e ponto de murcha permanente e Velocidade de infiltração básica para os diferentes sistemas estudados.

Manejo	Densidade natural do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	Dsmax (Mg m <sup>-3</sup> )	Uot (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Ucc (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Grau de compactação (%)	VIB (mm h <sup>-1</sup> )
PE	1,20	1,62	0,28	0,31	74,1	32b
ILPF	1,18	1,60	0,28	0,32	73,7	30b
CE	1,39	1,79	0,24	0,30	78,1	20c
PCM	1,15	1,53	0,26	0,30	75,2	28b
PEX	1,35	1,72	0,24	0,30	78,5	20c
MN	1,01	1,4	0,28	0,33	72,1	40a

Ucc - Umidade correspondente à capacidade de campo, Uot – Umidade ótima, VIB– velocidade de infiltração básica. ( Médias seguidas da mesma letra na vertical na diferem estatisticamente entre si pelo teste de “Scott-Knot” ao nível de significância de 5%) .

Ainda pela tabela 2, ao analisarmos a densidade máxima de compactação (Dsmax),verificou-se que a sequência decrescente de valores foi: CE > PEX > PCM > ILPF >

PE > MN. Observa-se que os sistemas PEX e CE foram os que apresentaram maiores  $D_{smax}$ . A mata natural foi o sistema que apresentou o menor valor de  $D_{smax}$ . Maiores valores de  $D_{smax}$ , não expressam a compactação do solo, sendo apenas parte do cálculo do grau de compactação, que segundo Dias Junior, Nunes et al., (2007), pode expressar com maior clareza o estado de compactação dos solos.

Do estudo de Proctor normal, obtém-se ainda a umidade ótima de compactação ( $U_{ót}$ ), ou seja, a umidade na qual o solo quando submetido a cargas, tem a maior propensão em se compactar. A tabela 2, apresenta os valores de  $U_{ót}$  para os diferentes sistemas estudados, no qual observa-se que os sistemas CE e PEX, apresentam os menores valores de  $U_{ót}$ , dado seu estado de consolidação pela não revolvimento e pisoteio de animais. Esses manejos, podem contudo, apresentar menores valores de porosidade total, o que de certa forma ocasiona menores valores de  $U_{ót}$ . Na prática, isto significa que em períodos de chuva, esses solos requerem maiores cuidados quanto ao manejo, pois podem ser mais susceptíveis à compactação.

A Umidade correspondente à capacidade de campo ( $U_{cc}$ ) (Tabela 2), tem também grande influência na susceptibilidade dos solos à compactação. Observa-se, porém que, para todos os manejos o valor de  $U_{cc}$  é superior ao valor da  $U_{ót}$ , indicando um risco, pois se no momento da irrigação o solo é mantido com umidade próxima a da capacidade de campo e, entre uma irrigação e outra, essa umidade é reduzida por processos fisiológicos, de redistribuição da água no perfil e de evapotranspiração, possivelmente chegando a valores muito próximos aos da  $U_{ót}$ , (Tabela 2). Um solo em condições ideais ou próximo dessa situação, aliado ao intenso tráfego de máquinas e, ou pisoteio animal, apresenta um alto potencial de compactação.

Ao analisar-se PE e ILPF verificou-se que o valor de  $U_{ót}$  é muito próximo de  $U_{cc}$ , o que lhes confere um enorme potencial para a compactação, caso sejam irrigados.

Para a Mata, a maior quantidade de matéria orgânica pode influenciar nos valores e  $U_{ót}$ , pois, por suas características físicas e químicas, a retenção de água é aumentada essas características também podem reduzir  $D_{smax}$ , pois a matéria orgânica pode deixar o solo mais leve e com menores densidades. Esse efeito da matéria orgânica em reduzir os valores de  $D_{smax}$  pelo efeito de amortecimento e aumentar os valores de  $U_{ót}$  pela alta capacidade de adsorção, também foi observado por (Aragón et al., 2000; Ball et al., 2000).

Segundo Santos (2001), o grau de compactação (GC) tem sido aceito como indicativo da compactação dos solos. Ainda este autor afirma que, valores acima de 75% para Graus de compactação apresentaram limitações ao desenvolvimento da cultura do milho. Porém, (Carvalho et al., 2010), encontraram gramíneas se desenvolvendo bem onde o grau de

compactação medido era de 88%. Já Neves Junior et al. (2013), estudando a densidade relativa, que se compara com o grau de compactação obtido pelo ensaio de Proctor normal, concluíram que o valor crítico seria de 86%, limitando assim o desenvolvimento das culturas. Contudo, não se tem estudos ainda precisos de limites para a Cultura do Eucalipto.

Pela tabela 2, nota-se que os manejos ILPF e PCM não apresentam valores críticos em relação a compactação, pois estão abaixo do limite citado anteriormente, sendo assim o desenvolvimento dos mesmos não estará comprometido por esse fator. A MN também não sofre riscos pois está bem abaixo do valor crítico. Isto ocorre devido, ela não sofrer nenhuma ação antrópica, pisoteio animal ou preparo do solo.

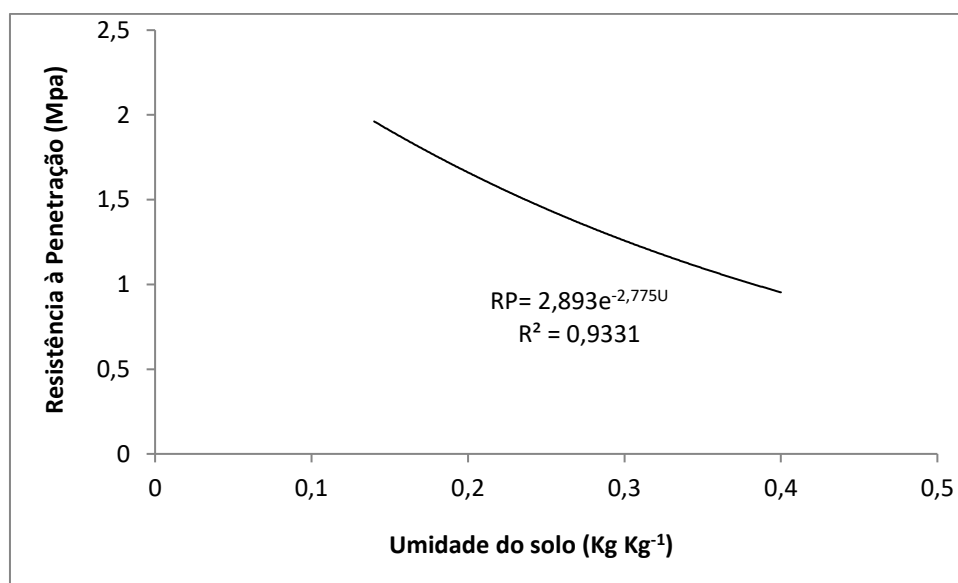
Ainda, de acordo com a tabela 2 observa-se que, os manejos PEX e CE, apresentaram os maiores de GC, indicando uma maior alteração estrutural do solo quando comparados com a Mata natural. Isso é um indicativo de que o pisoteio constante de animais na área ocasionou uma significativa mudança na estrutura do solo.

Por trabalhar com amostras deformadas, os resultados do Proctor normal que auxiliam no cálculo do grau de compactação, ainda é questionado por alguns autores, porém é um método aceito pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo como indicativo da compactação dos solos agrícolas, embora se aplique com mais propriedade a estudos da Engenharia Civil, como construção de estradas e outros.

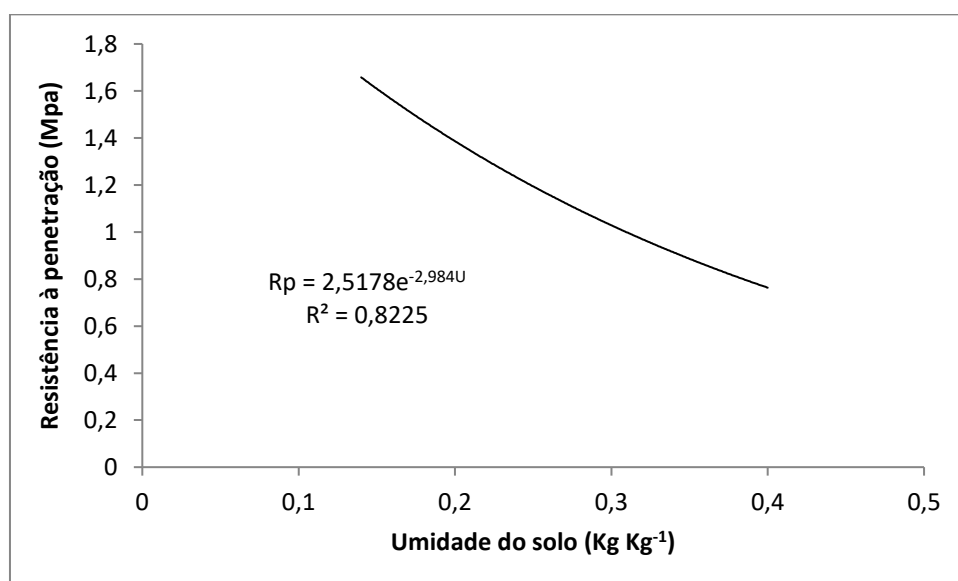
Outro ensaio realizado para quantificação da mudança estrutural do solo e para o conhecimento de possível compactação dos mesmos, é a determinação da velocidade de infiltração básica (VIB), sendo esta uma medida direta no campo da velocidade de infiltração da água em condições de saturação do solo. A Tabela 2 apresenta os valores da VIB para os diferentes sistemas de manejo do solo. Se considerar que antes do estabelecimento das culturas nos locais em questão, toda a área era ocupada pela mata natural, sendo esta então o parâmetro de comparação. Observa-se pela tabela 2 que, todos os sistemas apresentaram valores de VIB inferiores ao da mata, indicando, no entanto, que a atividade antrópica interferiu na estrutura do solo. Os manejos CE, e PEX, foram os que apresentaram os menores valores de VIB, fato esse explicado pelo não revolvimento do solo nos sistemas PCM, PE e ILPF cujo efeito ainda pode ser notado. A compactação do solo pode limitar a infiltração de água, influenciando significativamente nos valores da VIB. Uma vez que o solo apresente menores valores de VIB, este pode estar sujeito a frequentes problemas de enxurradas no período das chuvas ou em irrigações sem controle. Essas enxurradas podem causar erosões com arraste de partículas significativos e, perdas de produtividade, problemas muito frequentes em solos compactados.

Atualmente, a resistência do solo à penetração é um dos métodos mais empregados no Brasil, pois permite identificar camadas compactadas no solo de um modo rápido e de fácil interpretação correlacionando-se com a densidade e com a macroporosidade, possibilitando a identificação de camadas potencialmente limitante ao crescimento radicular (Colet et al., 2009). Valores de resistência a penetração do solo entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas (Hamza and Anderson, 2005).

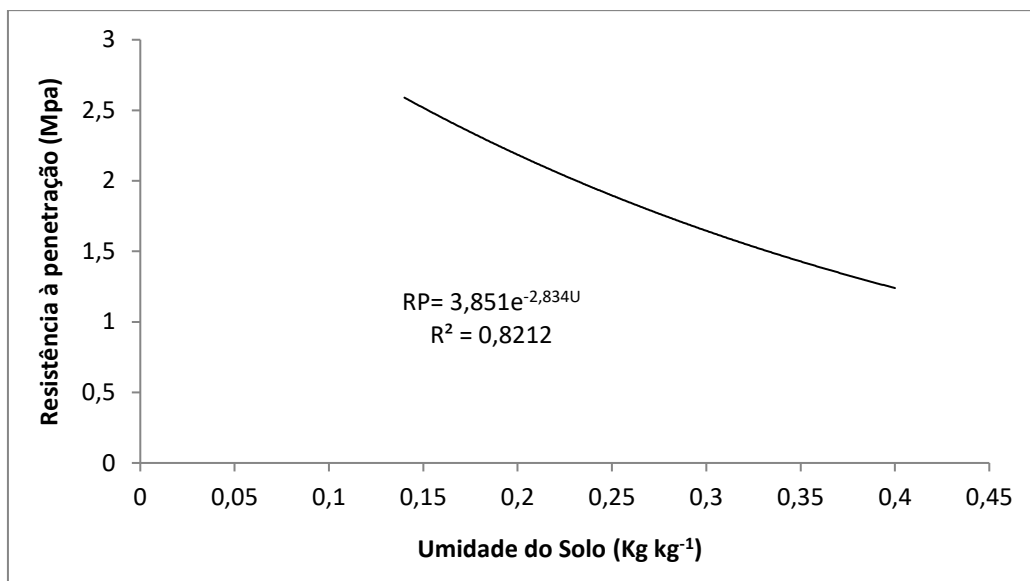
As figuras 3 a 8 apresentam as curvas provenientes das equações de regressão ajustadas da resistência do solo à penetração nos diferentes sistemas.



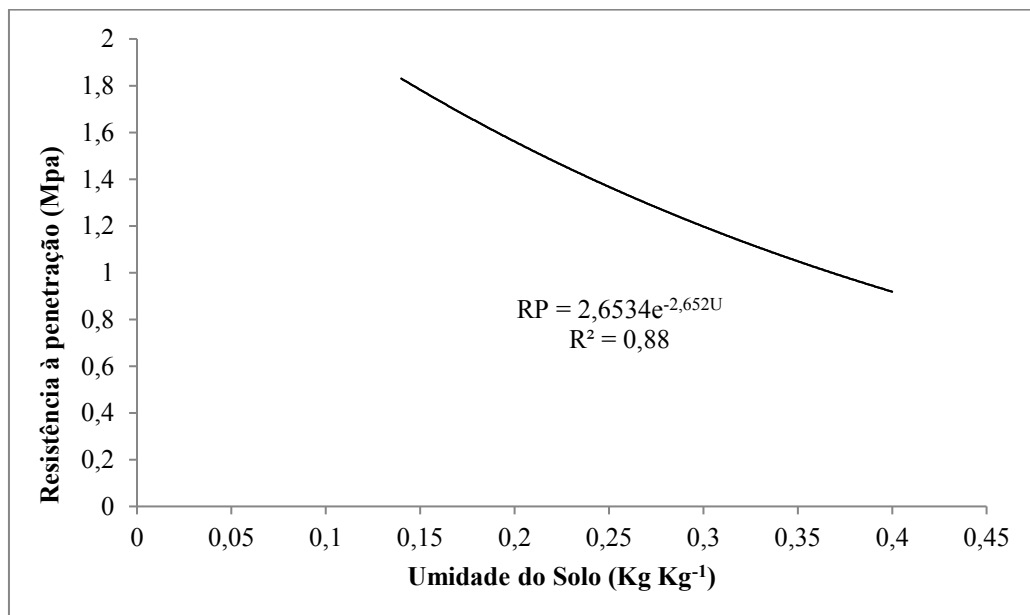
**Figura 3** - Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o plantio de eucalipto



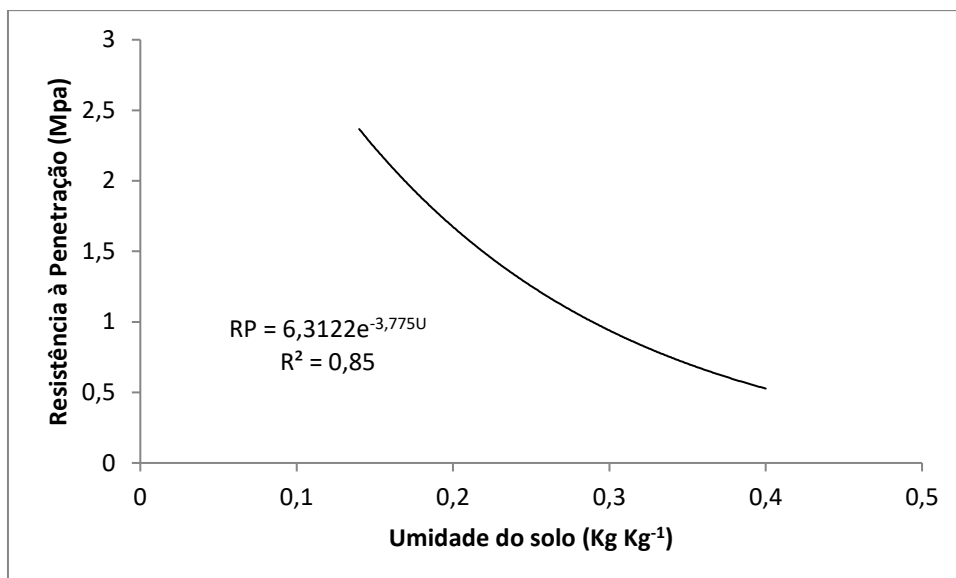
**Figura 4** - Modelagem do solo à penetração versus Umidade para Integração Lavoura Floresta



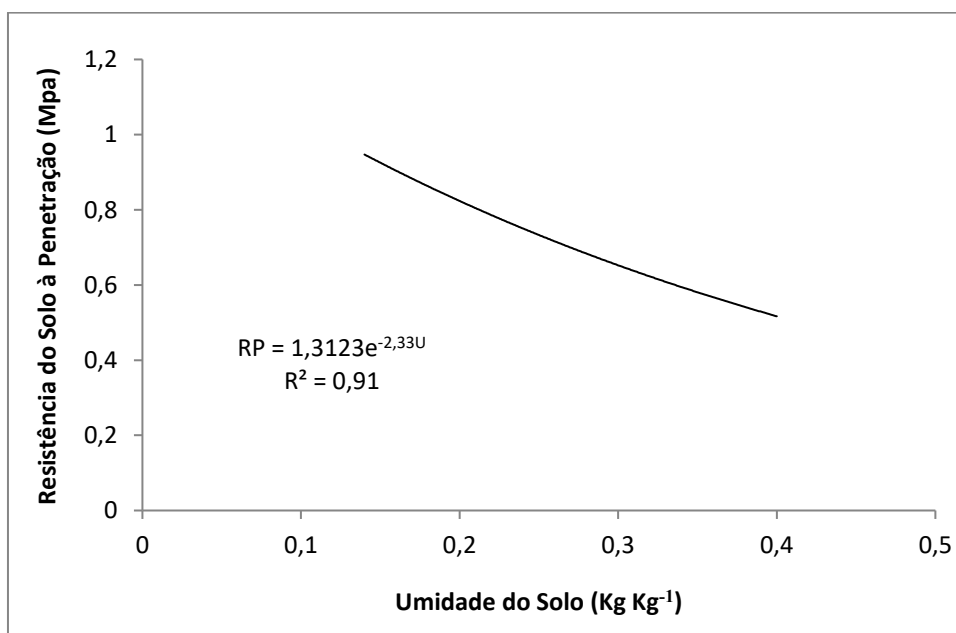
**Figura 5** Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o Cerrado



**Figura 6** Modelagem do solo à penetração versus Umidade para o plantio convencional de Milho



**Figura 7-** Modelagem do solo à penetração versus Umidade para a Pastagem



**Figura 8 -** Modelagem do solo à penetração versus Umidade para a Mata Natural

Como os modelos foram gerados em forma exponencial, para comparações estatísticas, eles foram transformados em retas e essas retas comparadas duas a duas pelos seus coeficientes lineares e angulares de acordo com Snedecor & Cochran (1989).

Observa -se pela tabela 3, que todos os tratamentos PE x ILPF e PE x PCM não diferenciaram-se entre si pelo teste de Snedecor & Cochran (1989).



**Tabela 3.** Teste de significância de acordo com Snedecor & Cochran (1989) dos sistemas estudados.

Comparações entre sistemas	Significância	
	Coeficiente linear	Coeficiente angular
PE x ILPF	ns	ns
PE x CE	*	*
PE x PCM	ns	ns
PE x PEX	*	*
PE x MN	*	*
ILPF x CE	*	*
ILPF x PCM	*	*
ILPF x PEX	*	*
ILPF x MN	*	*
CE x PCM	*	*
CE x PEX	*	*
CE x MN	*	*
PCM x PEX	*	*
PCM x MN	*	*
PEX x MN	*	*

\* = significativo a 5%, ns = não significativo

Todos os demais tratamentos apresentaram diferenças. De acordo com Rocha. (2003), a melhor representatividade da resistência do solo à penetração (RP) deve ser o valor na umidade correspondente à capacidade de campo, pois esse valor de resistência do solo é enormemente influenciado pela umidade do solo. Baseado nisso, a Tabela 4 traz os valores de RP obtidos na Ucc. Admitindo-se o valor crítico de 2 MPa Silva et al. (1994) observa que nenhum dos sistemas estudados apresenta problemas de compactação, mas os sistemas CE e PEX, apresentaram os maiores valores de RP. A pastagem extensiva apresenta um valor já próximo ao limite estabelecido, o que indica uma alteração estrutural e levando o solo sob esses cultivos a posterior problemas de compactação. Os menores valores de RP foram encontrados para a MN e PCM. A mata por se constituir em um sistema sem tráfego de máquinas e, ou animais e, também, por apresentar um maior conteúdo de matéria orgânica, proporcionando uma estrutura mais solta, o que de certa forma condiciona menores valores de resistência à penetração. Já o PCM também apresenta uma estrutura mais solta devido aos intensos processos de mobilização por sucessivas arações e gradagens.

**Tabela 4.** Valores de Resistência à Penetração (RP) na umidade correspondente à capacidade de campo (Ucc).

Manejo	RP (MPa)	Ucc (kg kg <sup>-1</sup> )
PE	1,22	0,31
ILPF	1,23	0,32
CE	1,64	0,30
PCM	1,19	0,30
PEX	1,82	0,30
MN	0,60	0,33

## 2.7 CONCLUSÕES

- 1) A mata foi o sistema com menor valor de densidade máxima e maior valor de umidade ótima de compactação;
- 2) A pastagem e o cerrado foram os sistemas que apresentam os maiores valores para o grau de compactação e, também, para a resistência do solo à penetração;
- 3) A Mata natural foi o sistema que apresentou o maior valor de Velocidade de infiltração básica e, por sua vez, o cerrado e pastagem os que apresentaram os menores valores destes indicadores.
- 4) Os sistemas que apresentaram as maiores modificações estruturais em relação à mata foram a pastagem e o cerrado.
- 5) O pisoteio animal foi o fator preponderante para o aumento da densidade do solo.

## 2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragón A, García MG, Filgueira RR and Pachepsky, YAA. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. *Soil Till. Res.*, 56:197- 204, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00144-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00144-6)

Assis RL and Lanças KP. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400004>

Ball BC, Campbell DJ and Hunter EA. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. *Soil Till. Res.*, 57:83-91, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00145-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00145-8)

Bernardo S. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2006. 36p.

Bertol I, Albuquerque JA, Leite D, Amaral AJ and Zoldan Junior WA. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:155-163, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>

Busscher WJ, Bauer PJ, Camp CR and Sojka RE. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, 43:205-217, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00015-9)

Colet MJ, Sverzut CB, Weirich Neto PH, Souza ZM. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. *Ciência Agrotecnologica*, v. 33, p. 361-368, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000200001>.

Day PR. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black CA. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison : American Society of Agronomy, 1965. p.545-566.

Dias Júnior MS. Notas de aula de física do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 168p

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análises de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos 1).

Hamza MA, Anderson WK. Soil compaction incropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>

Lili M, Bralts VF, Yinghua P, Han L, Tingwu L. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Beijing, v.1, n.1, p.22-30, 2008.

Raij BVan, Quaggio JA. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: IAC, 1983. 31p. (IAC. Boletim técnico, 81).

Rocha WW. Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG. 2003, 101p (Tese de doutorado) Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG.

Santos AG, Dias Júnior SM, Guimarães TGP, Furtini Neto EA. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. *Ciência Agrotec.*, Lavras, v. 29, n.4, p. 740-752, jul/ago.,2005

Silva AP, Libardi PL and Camargo OA. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986

Silva AP, Kay BD. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

Silva RB. da. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, 23, p. 219- 226, abr./jun. 1999.

Silva BP. Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um latossolo sob diferentes usos MG. 2007, 66p (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG.

Snedecor GW and Cochran WG. *Statistical methods*. 8.ed. Ames, Iowa State University, 1989. 503p.

Soane BD and Ouwerkerk Cvan. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soane BD and Ouwerkerk Cvan., eds. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.1-21.

Stancati G, Nogueira JB, Villar OM. Compactação do solo. In: *Ensaio de laboratório em mecânica dos solos*. São Paulo, USP, 1981. p. 81-93.

Stolf R, Fernandes J and Urlani Neto VL. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1)

Pedrotti A, Pauletto EA and Crestana, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:521-529, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>.

Vargas M. *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo, McGraw-Hill, 1977. 509p.

Vieira MJ. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: Fancelli AL, Torrado PV, Machado J. (Coords.). *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fund. Cargill, 1985. p.163- - 179.

\*REFERÊNCIAS DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.

### **3. CAPÍTULO 03 - CAPACIDADE SUPORTE DE CARGAS DE UM LATOSSOLO SOB MANEJO, USO E MATA NATURAL**

#### **3.1 RESUMO**

Um dos principais fatores da degradação do solo é a compactação, cujas causas incluem práticas florestais e agrícolas inadequadas. O tipo e a intensidade desse manejo alteram a estrutura do solo e comprometem a qualidade física dessas áreas. Nesse sentido a pressão de pré-consolidação tem se mostrado uma importante alternativa, pois é considerada uma ferramenta eficaz na análise da compactação do solo. Objetivou-se com esse trabalho analisar a capacidade de suporte de carga em diferentes usos e manejo do solo. O estudo foi realizado no município de Curvelo-MG em setembro de 2018. Foram coletadas amostras indeformadas e deformadas do Cerrado, da Mata natural e do sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), no qual foram feitas análises texturais e de matéria orgânica. Para a obtenção da pressão de pré-consolidação (PP) e dos modelos de capacidade de suporte de carga, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, utilizando-se um consolidômetro. O solo Integração Lavoura Pecuária Floresta e Cerrado não apresentam diferenças significativas entre si ao nível de 5% de probabilidade, mesmo correspondendo a mesma classe de solo e sofrendo pisoteio animal. A diferença encontrada para o Cerrado e ILPF em relação à Mata, pode ser explicada pela maior quantidade de Matéria Orgânica no solo sob mata. As áreas de ILPF e Cerrado apresentaram maiores valores de PP, indicando que a estrutura do solo apresentou deformação devido ao pisoteio animal e, ou ao tráfego de máquinas. A mata por sua vez tem uma menor PP, devido a sua maior quantidade de matéria orgânica, uma vez que essa promove um alívio na estrutura do solo deixando o mais solto.

**Palavras-chave:** compactação, pisoteio animal, pré consolidação, solo.

### 3.2 ABSTRACT

The main factor of soil degradation is compaction, the causes include inadequate forestry and agricultural practices. The intensity of this management modify the soil structure and compromise the physical quality of these areas. In this sense the load board pressure has been shown to be an important alternative, since this is considered an effective tool in the analysis of soil compaction. The objective of this work was to analyze the maximum load bearing capacity in different soil management And natural Forest. The study was conducted in Curvelo-MG. Undisturbed and deformed cores were collected from Cerrado, natural Forest and the Integrated Crop-Livestock-Forest (ILPF), where texture and organic matter analyzes were performed. In order to obtain the pre-consolidation pressure (PP) and load bearing capacity models, the samples were submitted to the uniaxial compression test, using a consolidometer. The Soil Integration Forest and Cerrado Livestock do not present significant differences at the level of 5% of probability, even presenting the same class of soil and suffering animal trampling. The difference found for Cerrado and ILPF in relation to Mata can be explained by the greater amount of Organic Matter. The areas of ILPF and Cerrado showed higher PP values, indicating that the soil structure presented deformation due to animal trampling and or machine traffic. The forest in turn has a lower PP, due to its higher amount of organic matter, which promotes a relief in the soil structure leaving the loosest.

**Keywords:** compaction, animal trampling, load board pressure

### 3.3 INTRODUÇÃO

No Brasil o uso do solo tem se intensificado nos últimos anos, devido a elevada área ocupada por grandes culturas florestais e agrícolas. O país apresenta uma área de 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que cerca de 71 % são ocupadas por plantios de eucalipto (Ibá, 2016), já nas culturas agrícolas de grãos, por exemplo, esse número se eleva a 58 milhões de hectares, descrito no Plano Agrícola e Pecuário (2014/15), expedido pelo Ministério da Agricultura.

Atualmente, máquinas para o cultivo de culturas agrícolas e florestais são grande porte. Como consequência disso e das novas tecnologias desenvolvidas, essas máquinas apresentam maior potência, velocidade de deslocamento, maior mobilidade, rendimento operacional e, consequentemente, maior peso. Entretanto, o excesso do tráfego na área de cultivo e a utilização de máquinas inapropriadas podem acarretar modificações importantes no solo, ocasionando consequências adversas, dentre elas: aumento da resistência à penetração das raízes, alteração na disponibilidade de fluxo e na capacidade de retenção da água, calor e nutrientes bem como redução da aeração do solo. (Lima and Leite, 2014).

Assim, o uso intensivo do solo sem alguns cuidados e estudos sobre sua estrutura acarreta em grandes prejuízos, dentre eles a compactação, corresponde à deformação volumétrica do solo, alteração nas características físicas, provocando uma mudança na relação água-solo (Rocha et al., 2007). Essa compactação pode relacionar-se com a porosidade e a densidade do solo, onde um solo com menor número de espaços vazios (poros) se torna mais denso, aumentando assim sua resistência à penetração. (Mantovani, 1987).

Segundo Seixas (1988), a intensidade de compactação do solo depende de vários fatores, que incluem a pressão exercida do maquinário utilizado, em função do tamanho e tipo dos rodados, peso, frequência do tráfego na área de cultivo além da textura, agregação e umidade do solo, sendo este último um dos fatores mais importantes no manejo do solo. Como consequência da compactação tem-se efeitos diretos sobre desenvolvimento das plantas, causado pelo impedimento físico à propagação de raízes, fator essencial para seu crescimento. Além desse problema, pode-se observar outros efeitos, como a diminuição do transporte de nutrientes, baixa taxa de infiltração e o aumento da erodibilidade.

A compactação do solo pelo pisoteio animal, ampliada pela redução da vegetação pelo pastejo, pode diminuir a taxa de infiltração de água, aumentar a erosão e conter o crescimento radicular das plantas. Como consequência de um superpastejo tem-se uma perda considerável da cobertura do solo que, devido ao impacto do pisoteio abusivo sob altas taxas de lotação, pode

provocar a compactação. Ressaltando que essa compactação depende, principalmente, do teor de umidade e da classe do solo, da taxa de lotação animal dentre outros. (Marchão et al., 2007).

As técnicas de quantificação da compactação do solo, mais usadas são: a pressão de pré consolidação, também definida como capacidade de suporte de cargas, que é a máxima pressão que o solo suporta sem se deformar permanentemente (Dias Junior, 1994), e o grau de compactação, que relaciona a densidade natural do solo com a máxima densidade que ele pode atingir (Dias Junior and Miranda, 2000; Oliveira et al., 2010). Pires et al., (2012) encontraram valores menores de pressão de pré-consolidação para áreas bem manejadas e com adubações adequadas.

Assim, o tráfego intenso de máquinas e o pisoteio animal em solo com umidades que favoreça à compactação tem se tornado um fator preocupante para a manutenção de uma atividade agropecuária eficiente e conservacionista (Dias Junior and Pierce, 1996; Silva et al., 2002). Entender a carga aplicada ao solo e a condição de umidade deste, torna-se fundamental.

### 3.4 OBJETIVO

Objetivou-se com este trabalho quantificar as possíveis alterações estruturais de um Latossolo sob diferentes, usos e manejo, estipulando a capacidade de suporte de carga aplicada a esse solo para que seja trabalhado sem risco de danos em sua estrutura devido à compactação.

### 3.5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, na Fazenda experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) situada em Curvelo, MG em setembro de 2018. O solo nesta área é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com textura Média (Embrapa, 2006). A tabela 5 apresenta a análise textural, valores de matéria orgânica e umidade na capacidade de campo.

**Tabela 5.** Análise textural e matéria orgânica e umidade na capacidade de campo para os usos e manejo estudados

Manejo	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)	Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	Umidade na capacidade de campo (kg/kg)
Mata	57,8	16,0	26,2	3,8	0,33
Cerrado	57,9	16,0	26,1	1,8	0,30
ILPF*	61,0	21,0	18,0	1,6	0,30

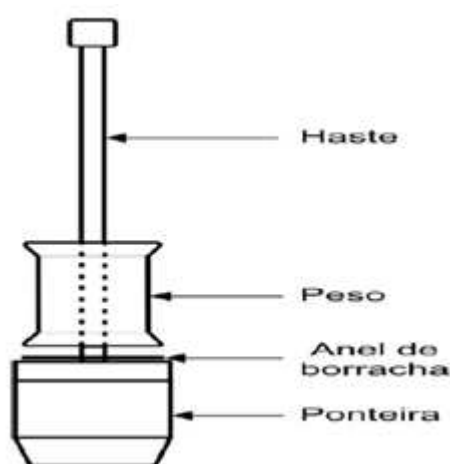
(\*ILPF = Integração lavoura pecuária floresta); Os valores da tabela foram obtidos da média das amostras.

O estudo foi conduzido nas seguintes áreas: Manejo da Integração Lavoura Pecuária Floresta, uso do Cerrado do tipo campo limpo (onde o mesmo sofreu pisoteio animal



anteriormente por um longo prazo e hoje a área não é mais utilizada a mais de um ano) e da mata natural (resquício de mata atlântica). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para a realização dos estudos de Pressão de pré-consolidação.

Com auxílio de um Amostrador de Uhland (Figura 9), foram coletadas 36 amostras indeformadas em cada área, com anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. As amostras indeformadas foram coletadas aleatoriamente a partir da camada superficial de 0-5 cm (36 amostras x 3 sistemas). As amostras foram envoltas em papel filme e parafinadas para não perderem umidade e nem serem danificadas no transporte para realização ensaios de pressão de pré-consolidação. Em cada ponto de coleta foram também coletadas amostras indeformadas de solos para suas respectivas análises.



**Figura 9.** Amostrador Tipo Uhland “Adaptado Kondo, 1999”.

Todas as amostras foram levadas para o laboratório de física e mecânica dos solos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, em Diamantina, MG.

As amostras indeformadas foram trabalhadas para que o volume do solo contido fosse igual ao volume dos anéis. Na sequência elas foram saturadas em um período máximo de 72 horas. Após a saturação as amostras foram equilibradas nas tensões de retenção de água de -2kPa; -6kPa; -10kPa; -33kPa e -1500kPa. Uma vez estabilizadas, as amostras foram pesadas úmidas e levadas para o ensaio de pressão de pré-consolidação.

Para a obtenção da pressão de pré-consolidação (PP) e dos modelos de capacidade de suporte de carga, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial de acordo com o método proposto por Bowles (1986), adaptado por Dias Junior (1994), utilizando-se um consolidômetro da marca Masquetto automação. Em cada amostra foram aplicadas as seguintes pressões: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% da

deformação máxima fosse alcançada. Após a liberação da pressão as amostras foram pesadas e secas em estufa a 105–110°C, por 24 horas, para o cálculo da umidade do solo. A densidade do solo foi determinada de acordo com Blake and Hartge (1986).

As pressões de pré-consolidação foram obtidas a partir da curva de compressão do solo (Figura 10) de acordo com (Dias Junior and Pierce 1996).

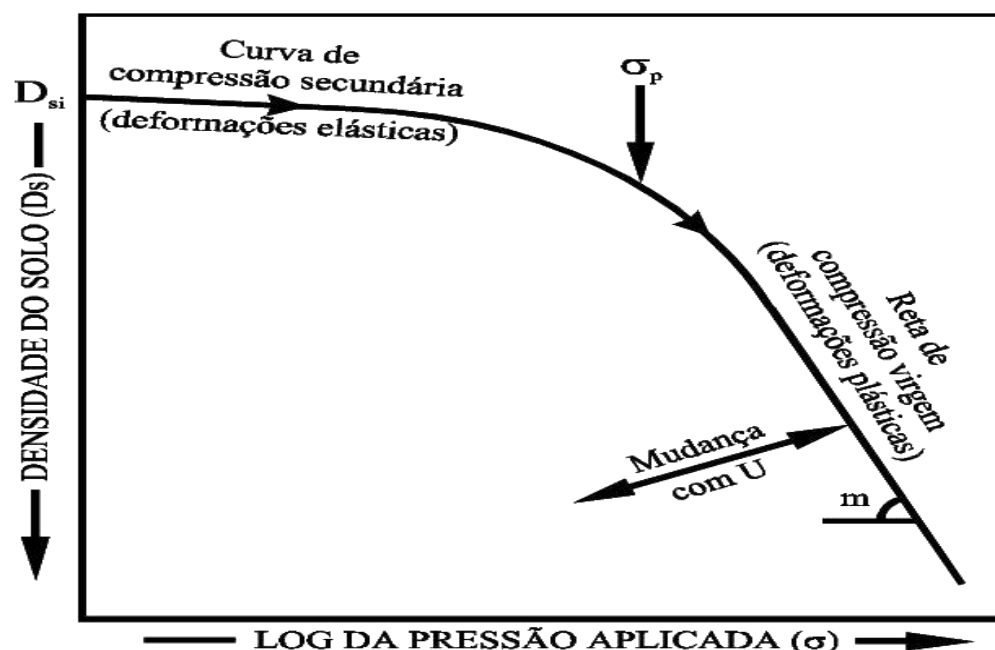


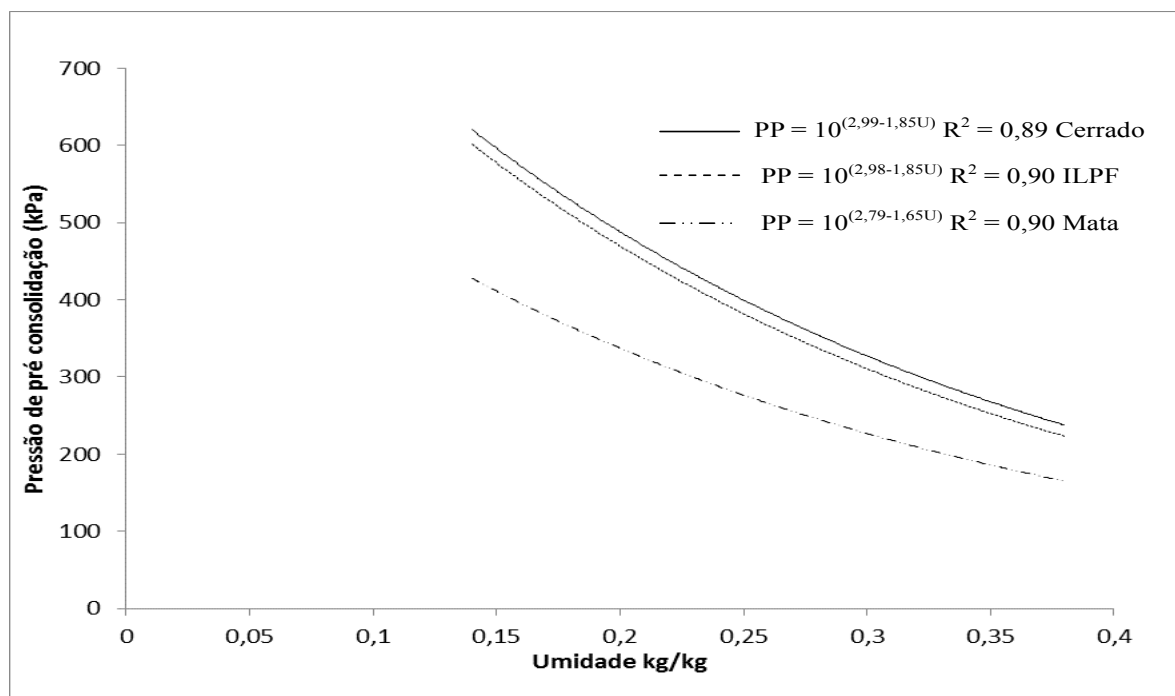
Figura 10. Curva de compressão do solo. “Adaptado Dias Junior, 1994”.

As pressões de pré-consolidação obtidas no ensaio de compressão uniaxial foram plotadas em função das diferentes umidades, para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo, utilizando o *software Sigma Plot 8.0* (2002). As equações matemáticas foram ajustadas utilizando o modelo proposto por Dias Junior (1994). As comparações das regressões foram feitas conforme Snedecor and Cochran (1989).

Foram feitas ainda análise granulométrica em amostras deformadas de solo, pelo método da pipeta (Day,1965; Embrapa,1997) e teor de matéria orgânica (Raij and Quaggio,1983), e para obtenção da umidade da capacidade de campo com auxílio de um extrator de placas porosas de Richard.

### 3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 11 apresenta, os modelos matemáticos e curvas geradas para os usos e manejo estudados, com base nas amostras coletadas.



**Figura 11.** Modelos e curvas da Pressão de pré-consolidação em função da umidade em solos de cerrado, ILPF e mata natural. (ILPF = Integração Lavoura pecuária floresta)

A tabela 6 apresenta o teste de significância da comparação entre os modelos matemáticos gerados. Nota-se que o solo Integração Lavoura Pecuária Floresta e Cerrado não diferem entre si pelo teste de Snedecor and Cochran (1989) ao nível de significância de 5%. Porém, ambos os manejos diferiram da mata.

**Tabela 6.** Teste de significância de acordo com Snedecor and Cochran (1989) entre as curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes usos e manejo.

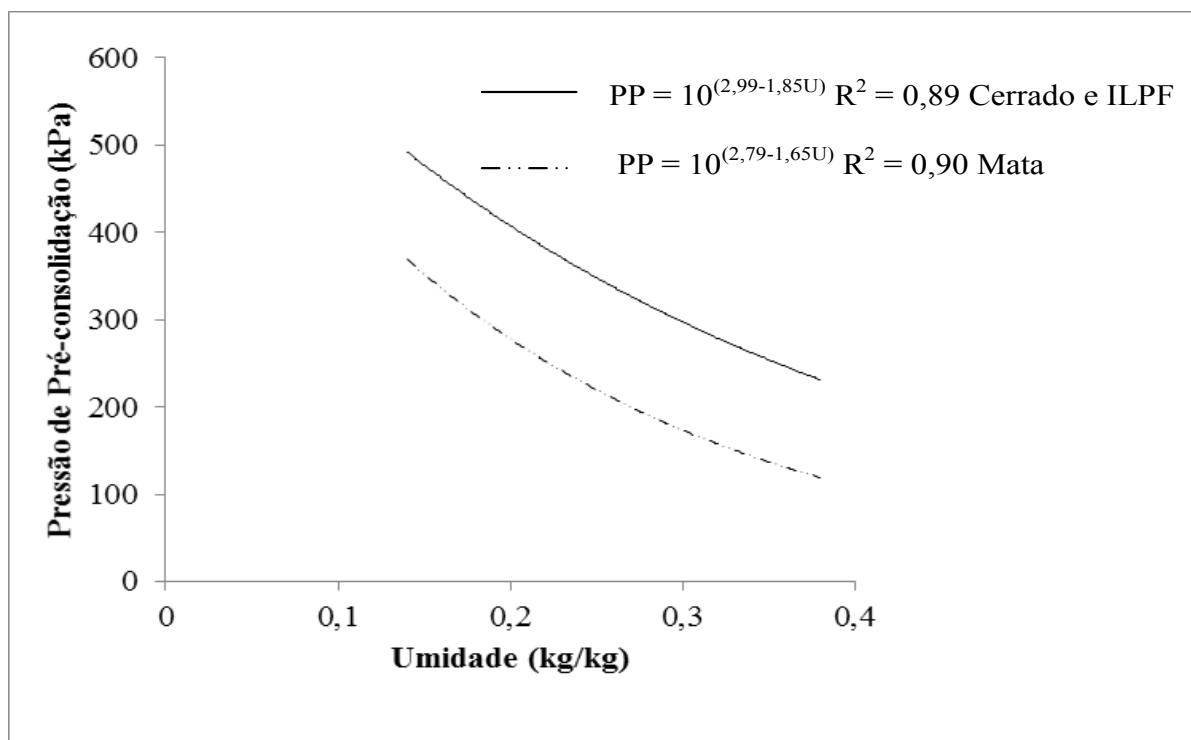
Usos e Manejo	F	
	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Mata vs ILPF	*	*
Mata vs Cerrado	*	*
ILPF vs Cerrado	Ns	Ns

F: testa a homogeneidade dos dados; b coeficiente angular da regressão linearizada; a intercepto da regressão linearizada; Ns: não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade respectivamente.

A ausência de diferença pode ser explicada pela classe de solo ser a mesma, as áreas estarem muito próximas e, ambas sofrerem pisoteio animal por pelo menos um ano. Além disso o cerrado, assim como a ILPF apresentam baixa cobertura vegetal sobre o solo, fato que também

pode explicar a ausência de diferença entre a capacidade de suporte de carga, pois a cobertura vegetal pode agir como aliviador das cargas aplicadas sobre o solo (Pires et al., 2012).

Uma vez não detectada a diferença entre a capacidade de suporte de cargas do cerrado e ILPF, os dados foram agrupados e um novo modelo foi ajustado (Figura 12).



**Figura 12.** Modelos e curvas da Pressão de pré-consolidação em função da umidade (ILPF = Integração lavoura pecuária floresta)

A diferença encontrada para o Cerrado e ILPF em relação à Mata, pode ser explicada pela maior quantidade de Matéria Orgânica da mata (Tabela 5). A matéria orgânica promove um alívio na estrutura do solo, deixando-o mais solto e com menor capacidade de suportar cargas (Rocha et al., 2007; Pires et al., 2012). Somado a isso, ressalta-se o fato da mata não sofrer pisoteio animal e nem tráfego de máquinas o que foi fator preponderante nesta menor capacidade de suporte de cargas.

Ressalta-se que as áreas de ILPF e Cerrado apresentaram maiores valores de PP em relação à mata, conforme observado na posição das curvas (figura 11). Esta maior resistência indica que provavelmente a estrutura do solo apresentou deformação devido ao pisoteio e ou tráfego de máquinas e que, estas áreas responderam mais rápido à deformação, forçando um ajuste das partículas do solo à carga aplicada.

A tabela 7 mostra os valores de pressão de pré- consolidação para as áreas de estudo, obtidas na umidade correspondente à capacidade de campo.

Um estudo prévio das áreas em questão, indicou que o solo apresenta ao longo do ano, umidade em torno de  $0,2 \text{ kg kg}^{-1}$ . Assim, uma simulação da capacidade suporte de carga para as áreas foi realizada, conforme valores apresentados na tabela 7. Na tabela 7 encontram-se também os valores de pressão de pré-consolidação na capacidade de campo.

**Tabela 7.** Pressão de Pré-consolidação dos diferentes usos e manejo na umidade da capacidade de campo e na umidade a  $0,2 \text{ kg kg}^{-1}$  do solo.

<b>Umidade na capacidade de campo -6kPa</b>	
<b>Usos e manejo</b>	<b>Pressão de Pré-consolidação (kPa)</b>
ILPF e Cerrado	272 a
Mata Natural	175 b
<b>Umidade em <math>0,2 \text{ kg kg}^{-1}</math></b>	
<b>Usos e manejo</b>	<b>Pressão de Pré-consolidação (kPa)</b>
ILPF e cerrado	417 a
Mata Natural	288 b

Valores seguidos da mesma letra minúscula na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Snedecor and Cochran (1989).

Em valores reais, a pressão de pré-consolidação das áreas de ILPF e cerrado é superior à da mata, sendo o pisoteio animal o fator mais importante nessa diferenciação.

Cabe destacar que, no Brasil, a média da pressão aplicada por tratores varia entre 200 e 300 kPa (Pires et al., 2012). Assim, o tráfego de máquinas nas áreas de manejo, não estaria comprometido caso realizado na umidade próxima à capacidade de campo. Contudo, nessa mesma umidade do solo, o pisoteio animal fica restrito, pois a carga média aplicada por animais na área passa dos 400kPa. (Pires et al., 2012). Assim, é necessário que o manejo animal seja revisto, ou seja ajustando a carga animal com a variável Unidade animal mais adequada para a área e que o pisoteio se dê com maior frequência na época mais seca. Na época mais úmida, a carga sobre o solo deve ser reduzida.

De acordo com a tabela 7, em condições de baixa umidade, a capacidade de suporte de cargas aumenta, pois o solo tem sua resistência ampliada pela aproximação das partículas (Larson et al., 1980). Nas áreas de Cerrado e ILPF, em baixa umidade, o manejo animal não causaria danos à estrutura do solo, que resistiria à maioria das cargas aplicadas pelos animais. Porém, no caso de uma irrigação ou nos períodos chuvosos, o manejo deve ser adequado corretamente considerando o número e/ou peso dos animais.

### 3.7 CONCLUSÕES

- 1- Os modelos da pressão de pré-consolidação gerados para os solos sob cerrado e ILPF não diferenciaram estatisticamente.
- 2- A pressão de pré-consolidação das áreas de ILPF e cerrado foi superior à da mata.
- 3- A mata natural apresentou menor valor de Pressão de Pré-consolidação devido a sua matéria orgânica.
- 4- A capacidade suporte de carga de um solo é dependente da sua umidade tornando o mais susceptível a compactação.

### 3.8 REFERÊNCIAS

- Blake GR and Hartge KH. Bulk density. In: Klute, A, ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, ASA/SSSA. 1986. Part 1. p.363-375.
- Bowles JE. Engineering properties of soils and their measurements. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1986. 218p.
- Day PR. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, CA, ed. Methods of soil analysis. Madison, America Society of Agronomy, 1965. Part.I. p.545-567
- Dias Júnior MS. Compression of three soils under long- term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p.
- Dias Júnior MS and Miranda EÉV. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). Ci. Agrotec., 24:337-346, 2000. \*não possui DOI
- Dias Júnior MS and Pierce FJ. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996. \*não possui DOI
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas do Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Brasília, Produção de informação, 1997. 212p.
- Instituto Brasileiro de Árvores; Relatório Anual – IBÁ. ago. 2016. 100p
- Larson WE, Gupta SC and Useche RA. Compression of agricultural soils from eight soils orders. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:450-457, 1980.
- Lima JSS, Leite AMP. Mecanização. In: Machado, C. C. Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap 2, p. 42-72.
- Mantovani EC. Compactação do solo. Informe Agropecuário, v. 13, n. 17, p. 52-55, 1987.
- Marchão RL, Balbino LC, Silva EM, Santos Júnior JDG, Sá MAC, Vilela L, Becquer T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no cerrado. Pesquisa Agropecuária brasileira, v. 31, n. 3, p. 221-232, 1996. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600015>.
- Merotto JRA, Mundstock CM. Wheat root growth as affected by soil strength. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.23, n.2, p.197-202, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000200002>
- Oliveira VS, Rolim MM, Vasconcelos RFB, Costa YDJ and Pedrosa EMR. Compactação de um argissolo amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 14:914-920, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900002>

Pires BS, Dias Júnior MS, Rocha WW, Araújo Júnior CF and Carvalho RCR. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 36:635-642, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200032>

Plano Agrícola e Pecuário 2014/15. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/PAP%202014-2015.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PAP%202014-2015.pdf) Acesso em: 18 out. 2016.

Raji Bvan and Quaggio JA. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 21p.

Rocha WW, Borges SR, Victória EP, Nunes AB. Resistência ao cisalhamento do solo do ponto de vista ambiental. In: ABREU, M. H. N.(Org.). Ciências Ambientais: abordagem multidisciplinar. Belo Horizonte: UEMG, 2007. p. 87-124.

Seixas F. Compactação do solo devido a mecanização florestal; Causas, efeitos e práticas de controle. Circular Técnica IPEF, n.163, p.1-10, 1988.

Silva VR, Reinert, DJ and Reichert JM. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. R. Bras. Ci. Solo, 26:9-15, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000100001>.

Snedecor GW and Cochran WG. Statistical methods. 8.ed. Ames: Iowa State University, 1989. 503 p.

**\*REFERÊNCIAS DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.**